

Оптимизация сетей общественного транспорта городов



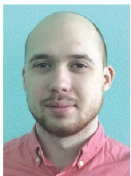
С. Н. Ткаченко,
к.э.н., директор
ООО «Первый центр
образовательных услуг»
(Первый ЦОУ)



А. В. Паршков,
к.т.н., заместитель
директора
Первый ЦОУ



А. А. Кураксин,
начальник отдела
транспортного
моделирования
Первый ЦОУ



Д. В. Порошин,
ведущий специалист
отдела транспортного
моделирования
Первый ЦОУ



А. П. Горейн,
специалист отдела
транспортного
моделирования
Первый ЦОУ

С ростом и развитием городов повышается транспортная активность населения. Это приводит к увеличению нагрузки на общественный транспорт и перераспределению пассажиров на маршрутах. В результате снижается эффективность работы сети, т. е. возникает необходимость ее оптимизации.

Зачастую имеющиеся маршрутные сети городов развивались стихийно, следуя за продолжающейся застройкой. При изменении структуры города не учитывались в полной мере трудовые миграции населения. Для оперативной выработки эффективных мер по улучшению сетей общественного транспорта необходимы современные методы и инструменты анализа необходимой информации [1,2].

Компания «Первый центр образовательных услуг» в 2016 г. провела исследования возможности оптимизации сети общественного транспорта г. Мичуринска, являющегося типичным средним городом, каких в России насчитывается порядка 20%. Мичуринск – город областного подчинения, население около 100 тыс. человек, крупный железнодорожный узел и узел автомобильных дорог, второй по экономическому и культурному развитию город Тамбовской области [3].

Такие муниципальные образования зачастую имеют схожие особенности инфраструктуры, проблемы, которые непосредственно влияют на развитие

транспорта общего пользования:

- низкую плотность магистралей с пассажирским транспортом;
- высокий процент (зачастую более 50%) улиц с недостаточной для пропуска транспортных средств общего пользования шириной проезжей части (3,0–3,5 м) и ненадлежащим дорожным покрытием;
- отсутствие транспортных обходов центральной части города;
- пассажирский транспорт представлен в подавляющем большинстве автобусами малой вместимости;
- высокий маршрутный коэффициент, что свидетельствует о недостаточной разветвленности маршрутной сети города;
- основная роль в освоении пассажиропотоков города принадлежит частным перевозчикам, у которых техническое состояние подвижного состава и культура обслуживания чрезвычайно низкие.

Нами разработана методика оптимизации сети на основе прогнозного статического макро моделирования. Для создания моделей использовался программный инструмент PTV Vision® VISUM 14. На базе расчетной платформы была реализована комплексная четырехшаговая методика прогнозирования спроса на пассажирские перевозки [4]. На основе данной модели рассчитываются основные параметры функционирования пассажирского транспорта: матрицы корреспонденции по различным видам деятельности, выбор вида транспорта, на котором совершаются перемещения, пассажиропоток на конкретных маршрутах движения, уровень загрузки подвижного состава.

Особенность методики составляет последовательная разработка ряда транспортных макромоделей:

- базовая модель на существующую ситуацию проходит валидацию и калибровку по натурным данным, получен-

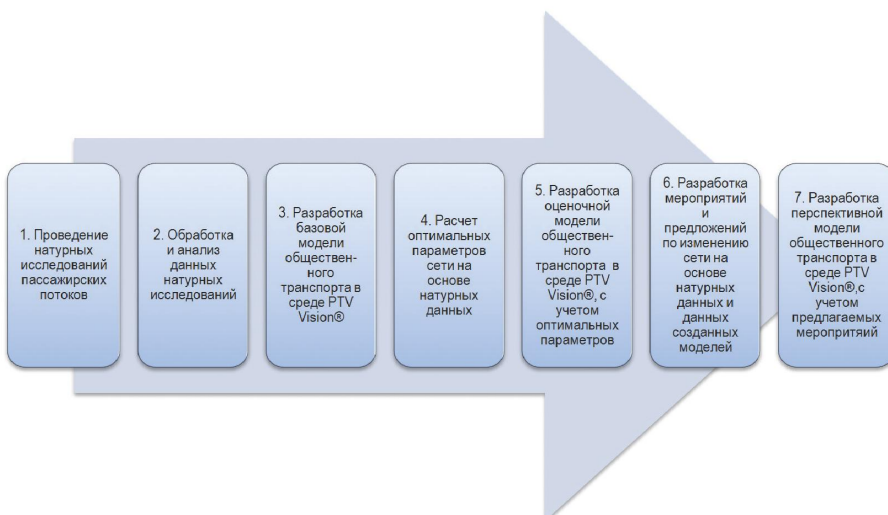


Рис. 1. Алгоритм оптимизации сети общественного транспорта

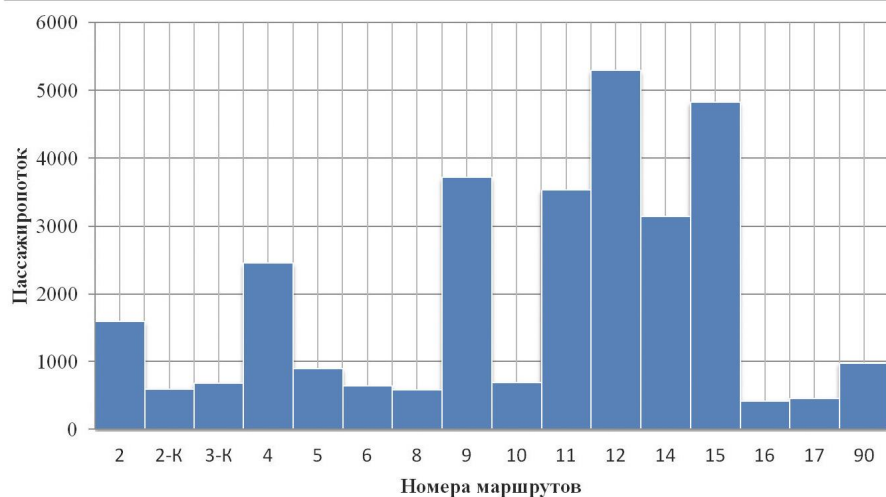


Рис. 2. Пассажиропоток на маршрутах городского общественного транспорта, пасс./сут.

ным при сплошном исследовании;

- оценочная модель — для оценки параметров функционирования системы пассажирского транспорта при оптимальном функционировании, но без изменения маршрутной сети; полученные на данном этапе моделирования результаты позволяют выявить маршруты, на которых необходимо оптимизировать прохождение трассы маршрутов, изменить линейные объекты, организовать новые маршруты;

- перспективная модель учитывает мероприятия по изменению геометрических параметров сети общественного транспорта и новых параметров спроса, возникшего вследствие перераспределения пассажиропотока.

На рис. 1 представлен алгоритм оптимизации сети общественного транспорта.

Методика пошагового создания транспортных моделей применяется для решения проблем малых, средних и крупных городов. Однако нужно учесть, что одна из важнейших задач при реализации такого рода проектов заключается в точном и полном сборе исходных данных. При оптимизации сетей общественного транспорта городов с населением более 500 тыс. человек требуется весьма тщательно подходить к данному вопросу: проведение обследований осложняется большим количеством транспортных средств на линии. В таких случаях наряду с ручным методом сбора данных следует использовать способ замера пассажиропотока с помощью автоматических датчиков, учитывая геопривязку к местности для контроля пассажирообмена и наполняемости остановочных пунктов.

Для реализации проекта была разра-

ботана программа проведения обследования, включающая следующие пункты:

- разработка методики обследования пассажиропотоков и отчетных форм;

- подготовка обследования, включающая инструктаж учетчиков, а также информирование организаций перевозчиков о предстоящем обследовании;

- проведение натурного обследования пассажиропотока на маршрутах счетно-табличным методом в течение недели: два рабочих дня и один выходной день (учетчики, находящиеся в пассажирском салоне автобуса, заполняли таблицы первичного учета по каждому остановочному пункту: количество входящих и выходящих пассажиров с занесением учетных данных по каждому рейсу, наряду, автобусу в прямом и обратном направлении);

- статистическая обработка материалов обследования пассажиропотока на основании данных первичного учета с использованием вычислительной техники.

Статистическая обработка материалов обследования содержала следующие маршрутные характеристики:

- наименования остановочных пунктов;

- расстояние маршрута по участкам;
- коэффициент использования вместимости автобуса;

- пассажирооборот на маршруте по каждому часу суток;

- пассажиропоток в прямом и обратном направлении на маршруте;

- транспортная работа на маршруте в прямом и обратном направлении;

- количество транспортных средств и оборотных рейсов на маршруте.

После обработки данных первичного учета получено среднее количество

пассажиров в день на маршруте (рис. 2), а также среднее количество пассажиров, приходящееся на один автобус маршрута в день.

Данные гистограммы были основой валидации и калибровки базовой модели. На основе приведенных характеристик составлялся рейтинг загрузки маршрутов по числу перевезенных пассажиров в сутки (выделено пять групп маршрутов по шкале от 1000 до 5000 пасс./сут.) и рейтинг загрузки маршрутов по числу пассажиров на один автобус (выделено пять групп маршрутов по шкале от 100 до 500 пасс./авт.). Рейтинги позволили выявить дисбаланс указанных параметров существующей сети общественного транспорта.

При создании оценочной модели были рассчитаны рациональные параметры функционирования маршрутной системы (необходимое число автобусов на маршруте A_m и рациональный интервал движения транспортных средств I), т. е. такие, при которых существующая система работает в максимально эффективном режиме [5]:

$$A_m = (Q_{max} \cdot T_{об}) / q_{вм};$$

$$I = (T_{об} \cdot 60) / A_m,$$

где Q_{max} — максимальная мощность пассажиропотока на самом загруженном участке маршрута в часы пик, полученная при натурных обследованиях, пасс.;

$T_{об}$ — время оборотного рейса маршрута при существующей трассировке, ч;

$q_{вм}$ — вместимость автобуса, эксплуатируемого в данный момент на маршруте, пасс.

Дальнейший анализ оценочной модели позволил определить пути оптимизации и направления перераспределения пассажиропотоков существующей маршрутной сети, выявить неэффективно используемые маршруты.

По новым параметрам создана прогнозная модель, позволяющая оценить эффективность предлагаемых решений, отработать все возможные варианты развития городского транспорта общего пользования. На рис. 3 представлена общая схема прогнозной модели пассажирского транспорта г. Мичуринска, выполненная в среде PTV Vision® VISUM 14.0.

Прогнозная модель общественного транспорта разработана с использованием математической модели распределения пассажиропотоков по интервалам движения транспорта. Такая модель хорошо подходит для городских транспортных систем с так

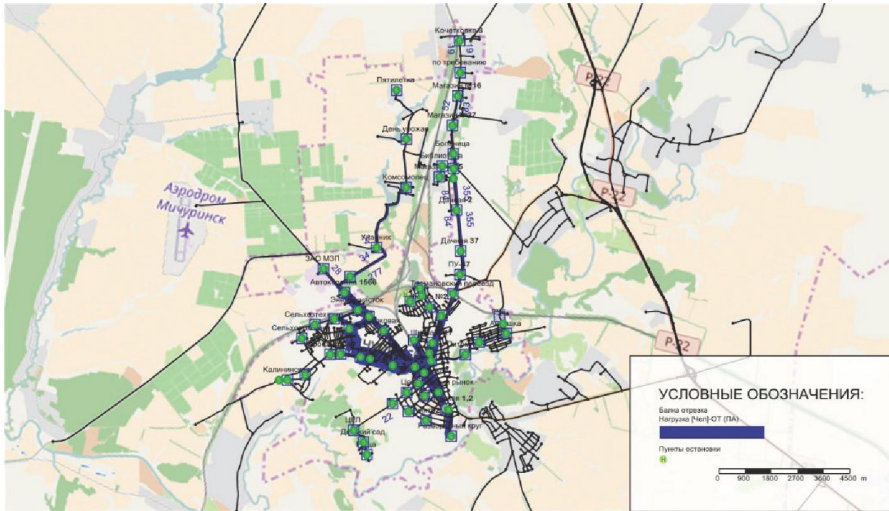


Рис. 3. Прогнозная модель пассажирского транспорта г. Мичуринска

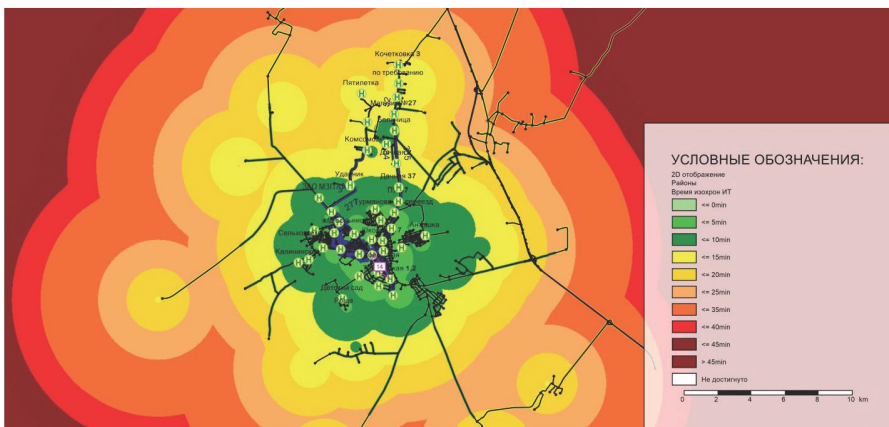


Рис. 4. Изохронограмма доступности различных территорий г. Мичуринска относительно центра

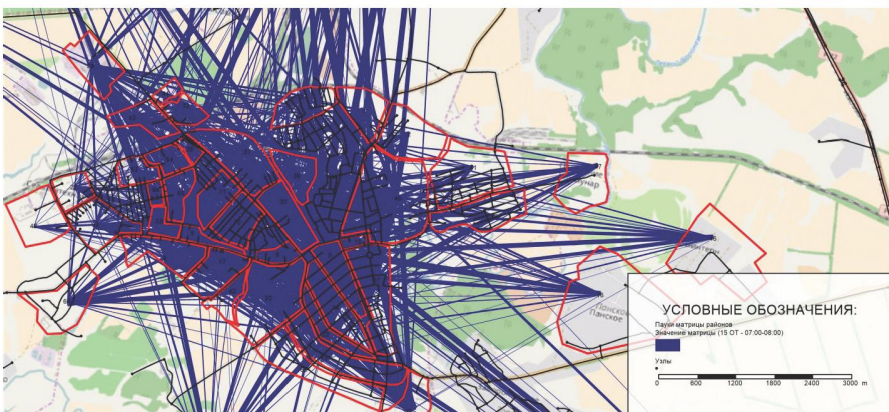


Рис. 5. Распределение корреспонденций пассажиропотоков по транспортным районам

называемым нечетким расписанием следования подвижного состава через остановочные пункты. Подразумевается, что пользователь системы общественного транспорта не покидает остановочный пункт, а дожидается ближайшего рейса, который удовлетворяет его транспортные потребности. Иначе такое распределение пассажиропотоков называют моделью оптимальных стратегий. Преимущество указанной модели помимо адекватного моделирования процесса перевозок в городе состоит в повышении

производительности за счет отказа от расписания движения транспортных средств на уровне отдельных поездок.

Разработанная модель адекватно описывает основные последовательности частичных путей, совершаемые пользователями в рамках личных или рабочих передвижений. Для модели Мичуринска по исходным данным были верифицированы следующие виды частичных путей:

- время движения в системе общественного транспорта по рейсам и маршрутам;

- время движения от одного остановочного пункта к другому;
- перемещение из района проживания или работы через виртуальные дуги к остановочному пункту пешком;
- время на переход между остановочными пунктами.

В общем случае комбинация из указанных временных затрат в модели складывается в пути следования, что позволяет перейти к рассмотрению различных параметров работы общественного транспорта в городе.

Математическая модель общественного транспорта позволяет рассчитывать целый класс параметров для системы общественного транспорта:

- время;
- длина маршрута;
- тариф;
- частота;
- производственные;
- атрибуты.

Большое количество рассчитываемых параметров необходимо, чтобы точно оценить эффективность функционирования исследуемой сети общественного транспорта и принять взвешенные решения по ее оптимизации. На рис. 4 представлен графический расчет затрат времени на перемещения относительно центра г. Мичуринска по пятиминутным интервалам.

На рис. 5 представлено распределение пассажиропотоков по транспортным районам в утренние часы пик.

Удовлетворение спроса на транспортное обслуживание – основная задача транспортной системы, соответствие провозной возможности маршрутов и пассажирского спроса определяется сбалансированностью этих параметров [1, 2]. Условие сбалансированности – отсутствие превышения транспортного спроса над мощностью маршрута и отсутствие периодов, когда мощности маршрутной системы простаивают.

На рис. 6 представлены графики баланса спроса и мощности маршрутов транспорта общего пользования г. Мичуринска до и после оптимизации.

После анализа технико-эксплуатационных и технико-экономических параметров маршрутов согласно перспективной модели был предложен ряд практических мероприятий для оптимизации маршрутной системы:

- рассчитан рациональный интервал движения транспортных средств по всем маршрутам;

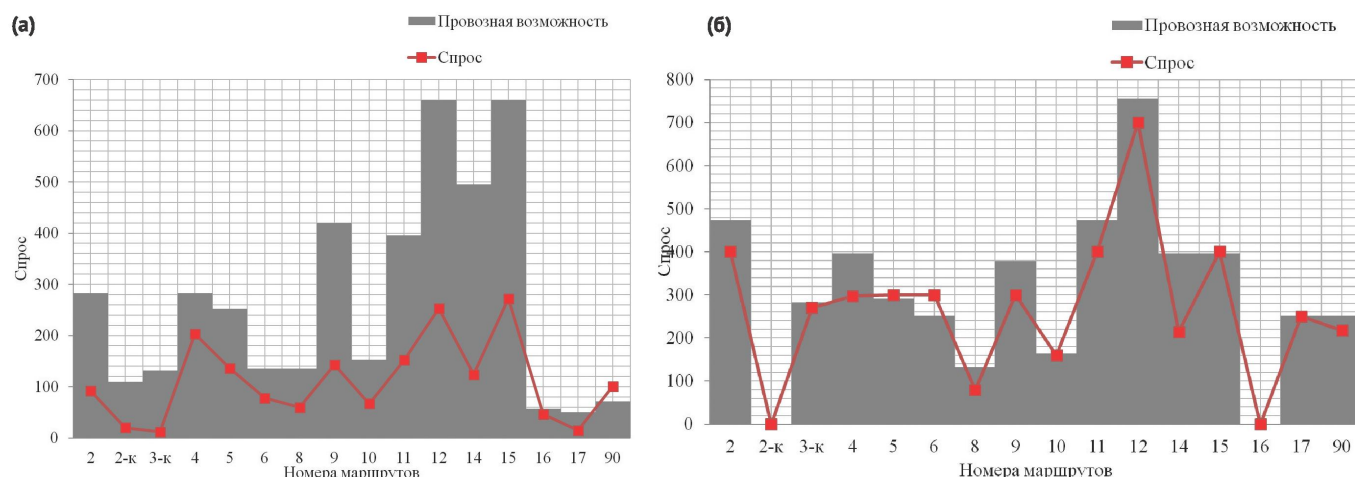


Рис. 6. Соотношение спроса и предложения в существующей ситуации (а) и после оптимизации (б)

- рассчитано необходимое число автобусов на всех маршрутах;
- задействованы улицы, ранее не обслуживаемые общественным транспортом, с организацией остановок у социально значимых объектов;
- оптимизировано расписание маршрутов;
- подобран класс транспортных средств, удовлетворяющий действительный спрос на перевозки общественным транспортом.

В таблице представлены значения параметров существующей и предлагаемой маршрутной сети с учетом мероприятий по оптимизации.

В результате уменьшено количество

маршрутов сети; увеличена доля более вместительного транспорта в пассажирских перевозках, а также общая вместимость транспортных средств, предполагается снижение загрузки улично-дорожной сети общественным транспортом в пиковые часы до 30 %.

Условия достижения результатов:

- широкое информирование граждан о планируемых изменениях;
- необходимые резервы транспортных средств различной вместимости, улучшение работы общественного транспорта;
- постоянный мониторинг состояния общественного транспорта с целью своевременной реакции на изменения

транспортной ситуации и анализа возможных улучшений в системе;

- организация работы центральной диспетчерской службы по регулированию движения общественного транспорта с целью обеспечения его достаточности и ритмичности работы;
- продолжение дальнейшей оптимизации системы общественного транспорта в части расчетов эффективности его ценового регулирования и экологической безопасности.

Предлагаемая методика пошагового создания транспортных моделей позволяет оперативно разрабатывать мероприятия по решению проблем и обеспечению сбалансированности провозной возможности маршрутов и удовлетворения спроса населения на транспортное обслуживание. **□**

Результаты оптимизации маршрутной сети г. Мичуринска

Номер маршрута	Класс ТС		Количество ТС на линии			Интервал движения, мин			Мероприятия оптимизации
	Сущ.	Оп-тим.	Сущ.	Расч.	Оп-тим.	Сущ.	Расч.	Оп-тим.	
2	M2	M3	7	10	7	7	5	8	Объединен с № 16
2-к	M2	-	2	2	-	18	14	-	Упразднен
3-к	M2	M2	3	5	7	15	9	7	Изменена трассировка
4	M2	M2	8	19	12	7	3	5	-
5	M3	M3	5	4	5	15	14	13	-
6	M3	M3	2	2	4	28	29	15	Объединен с № 2-к
8	M3	M2	2	1	4	28	38	15	-
9	M3	M3	10	8	9	9	11	10	-
10	M2	M2	4	5	5	13	13	12	-
11	M2	M3	14	21	7	5	4	8	-
12	M2	M3	20	42	15	3	2	5	Изменена трассировка
14	M2	M2	18	24	16	4	3	5	-
15	M2	M2	24	42	16	3	2	5	-
16	M2	-	2	4	-	35	10	-	Упразднен
17	M3	M3	1	2	5	75	49	15	-
90	M3	M3	2	6	7	53	19	15	-
Итого			124	197	119				

Литература:

1. Мартынова Ю. А. Формализация задачи организации маршрутных сетей городского пассажирского транспорта // Наукоедение. 2014. № 6. С. 1–13.
2. Кочегурова Е. А. Оптимизация составления маршрутов общественного транспорта при создании автоматизированной системы поддержки принятия решений // Изв. Томск. политехн. ун-та. 2013. № 5. С. 79–84.
3. Численность населения районов и городских населённых пунктов субъектов Российской Федерации // Предварительные итоги Всероссийской переписи населения 2010 года: Стат. сб. / Росстат. М.: Статистика России, 2011. С. 32–86.
4. Кураксин А. А., Шемякин А. В. Обзор методов оценки матриц корреспонденций // Наука и образование XXI века. Рязань, 2015. С. 93–101.
5. Ларин О. Н. Организация пассажирских перевозок. Челябинск: Изд-во Южно-Уральск. гос. ун-та, 2005. 104 с.