

УДК 658.014

С. В. Сизый, С. В. Вихарев, Д. А. Брусянин

Уральский государственный университет путей сообщения

И. Г. Низовцева

Институт Пьера-Симона Лапласа (Жиф-сюр-Ивет)

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ МАРШРУТНОЙ СЕТИ РЕГУЛЯРНОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

Предложена научно обоснованная методика формирования оптимальной маршрутной сети регулярного пассажирского транспорта в регионе для организации пассажирских перевозок исходя из условий экономической эффективности, снижения дотационной нагрузки на бюджет региона, объема пассажиропотока с учетом технико-технологических ограничений (по пропускной и провозной способности железнодорожного и автомобильного транспорта) для существующей автодорожной и железнодорожной инфраструктуры.

пассажирские перевозки, маршрутная сеть, пассажиропоток, загрузка маршрута, освоение пассажиропотока.

Введение

Практический опыт осуществления региональных пассажирских перевозок в России поставил перед региональными административно-управленческими структурами проблему снижения транспортной составляющей и дотационной нагрузки на бюджет региона за счет оптимального распределения имеющегося парка транспортных средств на маршрутах региональной транспортной сети. Снижение дотационной нагрузки и бюджетных расходов на организацию региональных пассажирских перевозок возможно за счет рациональной заполняемости пригородных железнодорожных поездов и оптимизации количества и типового состава транспортных средств, обслуживающих маршруты региональной сети.

В связи с этим актуальной является задача разработки научно обоснованной методики формирования оптимальной маршрутной сети регулярного пассажирского транспорта, способной осуществить требуемый объем пассажирских перевозок в регионе при условии рациональной заполняемости транспортных средств и оптимизации их

количественного и типового состава. Критерием экономической эффективности такой методики является величина снижения размеров дотаций из регионального бюджета на региональные пассажирские перевозки.

В работе в общем виде представлена требуемая методика, применение которой на уже существующей региональной транспортной сети позволяет формировать и оптимизировать сеть маршрутов пассажирских перевозок, что помогает решить указанную проблему.

1 Постановка задачи

Общая формализация задач моделирования, оценки и оптимизации сетей по различным сетевым параметрам рассматривалась в [1]–[4]; в работах [5], [6] конкретизируются идеи моделирования, построения и оптимизации сетей, в которых участвуют игроки с разными интересами, что соответствует ситуации, рассматриваемой в настоящей работе, поскольку региональные перевозки осуществляются различными транспортными

компаниями и предприятиями, имеющими собственные интересы.

Маршрут регулярных пассажирских перевозок – это путь следования транспортного средства по расписанию от начального остановочного пункта через промежуточные до конечного остановочного пункта, находящегося в сфере ответственности регионального органа исполнительной власти. Под *освоением* пассажиропотока понимаем полное обеспечение потребного спроса на пассажирские перевозки на данном маршруте. Представим маршрут на горизонтальной оси как путь следования транспортного средства между пунктами A_1, A_2, \dots, A_n (рис. 1).



Рис. 1. Представление маршрута на оси

Условные обозначения на рисунке 1:

● – начальный остановочный пункт: железнодорожная станция, автовокзал, автостанция, где имеется возможность организации посадки-высадки пассажиров, выполнения операции по изменению составности электропоездов, есть места для стоянки автотранспортных средств, депо или железнодорожных путей для отстоя мотор-вагонного подвижного состава и т. п.;

■ – остановочный пункт, в котором имеется технико-технологическая возможность завершить маршрут и начать движение в обратном направлении;

| – промежуточные остановочные пункты без возможности завершения в них маршрута (пассажирский остановочный пункт железнодорожного транспорта, остановочные пункты автомобильного транспорта).

Для общности методики и исключения её привязки к специфике транспортного парка конкретного региона освоение пассажиропотоков мы осуществляем *условными транспортными средствами* (УТС). Под условным транспортным средством мы понимаем эквивалент междугородного автобуса на 43 посадочных места. Выбор автобуса как условной единицы измерения обуслов-

лен удобством в пересчете объема пассажиропотока из условных единиц в эквивалентные транспортные средства большей вместимости, например в электропоезда. Кроме того, автобус такой вместимости является наиболее распространенным, безопасным и комфортабельным средством для региональных перевозок.

Требуется определить оптимальное количество УТС, которое следует назначить на данный маршрут, чтобы освоить требуемый пассажиропоток на данном маршруте и одновременно обеспечить рациональную заполняемость транспортных средств, обслуживающих этот маршрут.

Исходными данными для поставленной задачи служит матрица $[a_{ij}(t)]$ размера $n \times n$, в которой элемент $a_{ij}(t)$ означает количество пассажиров, которое необходимо перевезти из пункта A_i в пункт A_j на данном маршруте в течение часа, начиная с момента времени t . Таким образом, например, величина $a_{1n}(17.00)$ означает количество человек, прибывающих в течение часа с 17.00 до 18.00 к транспортному узлу A_1 и желающих уехать напрямую до A_n .

2 Описание методики

Методика освоения требуемого объема пассажирских перевозок на данном маршруте состоит из двух этапов.

2.1 Этап формирования гистограммы требуемой суммарной вместимости транспортных средств на участках обслуживаемого маршрута

Обозначим через $b_{ij}(t)$ количество человек, которое в течение часа $[t; t+1]$ нужно перевезти по отрезку пути от пункта A_i до пункта A_j . Величины $b_{ij}(t)$ легко вычисляются

ся на основании матрицы $[a_{ij}(t)]$ требуемых перевозок: $b_{ij}(t) = \sum_{\substack{k \leq i \\ l \geq j}} a_{kl}(t)$. В частности, количество человек, которое требуется провезти на каждом безостановочном промежутке пути от A_i до A_{i+1} , равно $b_{i,i+1}(t) = \sum_{\substack{k \leq i \\ l \geq i+1}} a_{kl}(t)$.

Составим гистограмму загрузки маршрута. Над каждым участком между остановочными пунктами указываем количество человек $b_{i,i+1}(t)$, которое необходимо перевести по этому промежутку для осуществления требуемого объема перевозок на данном маршруте.

Учитывая среднее время следования транспортных средств на маршруте из A_i в A_{i+1} , присваиваем каждому остановочному пункту время прибытия и отправления. Таким образом, на каждом маршруте будут указаны требуемые объемы перевозок, соответствующие времени следования по расписанию (рис. 2).

Выделим на маршруте последовательные промежутки сквозного движения в заданном направлении, т. е. участки, внутри которых нет возможности начать или окончить маршрут (нет возможности разворота), эти промежутки могут быть пройдены транспортным средством только в одном направлении. На горизонтальной оси «сквозные промежут-

ки» – это промежутки между последовательными крупными станциями типов «■» и «●». Ясно, что суммарная вместимость транспортных средств, обслуживающих сквозной промежуток, должна быть не меньше максимального значения потребности в перевозках на интервалах этого промежутка, поскольку на интервалах сквозного промежутка никакие дополнительные транспортные средства ввести невозможно. Поэтому на каждом сквозном промежутке заменим все вертикальные столбцы на один столбец, высота которого равняется высоте максимального столбца на этом сквозном промежутке (рис. 3). Таким образом мы получаем гистограмму требуемой суммарной вместимости транспортных средств, способных освоить необходимый объем пассажироперевозок по всей протяженности маршрута.

Для учета возможных случайных колебаний пассажиропотока можно увеличить столбики гистограммы на величину коэффициента неравномерности пассажиропотока $k_{\text{неравн}} \cdot V$, т. е. предусмотреть запас вместимости УТС на случай произвольного всплеска количества пассажиров на данном маршруте. Коэффициент неравномерности пассажиропотока $k_{\text{неравн}}$ можно определять на основе статистических данных.

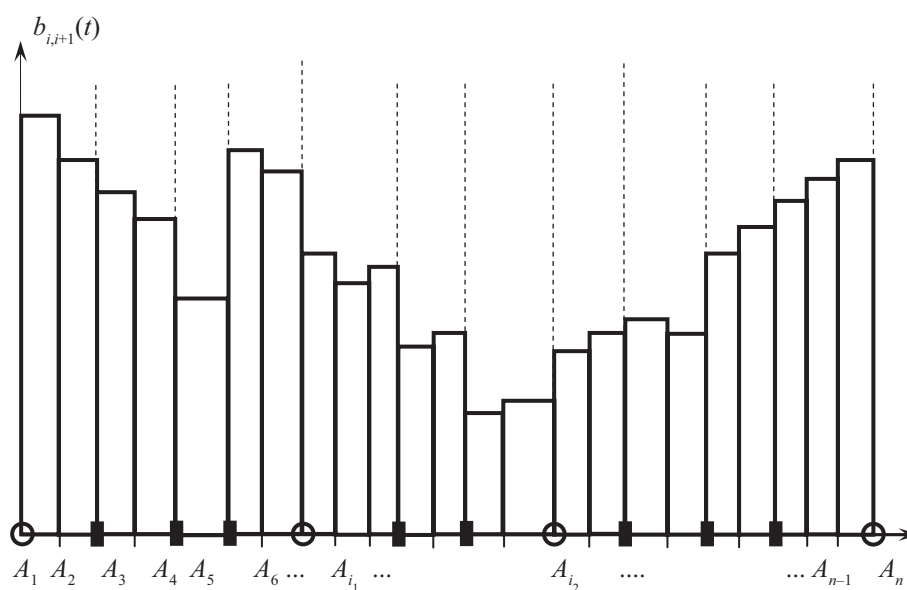


Рис. 2. Гистограмма требуемых объемов перевозок по отдельным участкам маршрута (спрос на объемы перевозок на каждом участке)

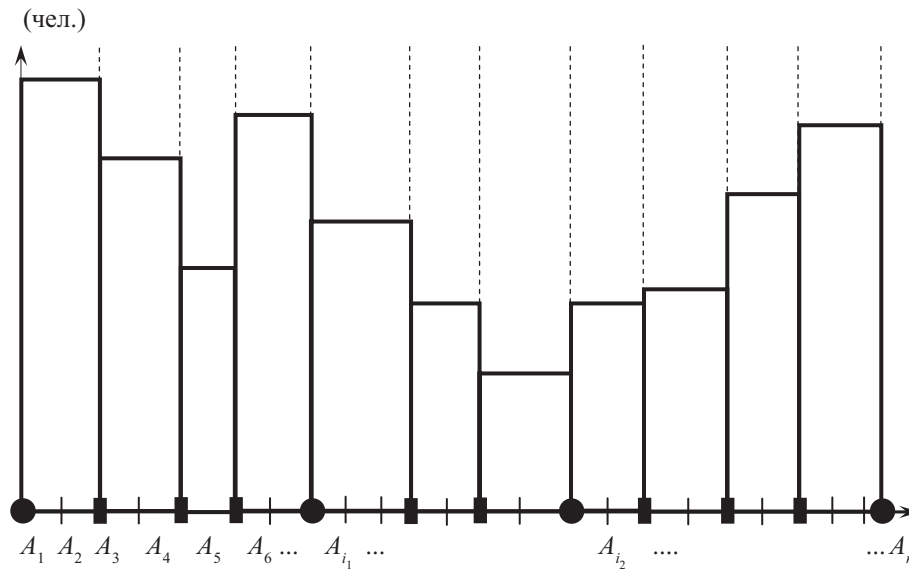


Рис. 3. Замена на каждом сквозном промежутке столбцов потребности в перевозках на максимальный столбец

2.2 Этап освоения пассажиропотока транспортными средствами

На втором этапе методики решается задача оптимального назначения УТС на маршрут, достаточных для освоения требуемых объемов пассажирских перевозок. Назначение транспортного средства на участок между пунктами A_i и A_j влечет перевозку этим транспортным средством объема пассажиров, равного его вместимости V . На гистограмме требуемых объемов перевозок (см. рис. 3) назначение транспортного средства между пунктами A_i и A_j означает уменьшение высоты столбцов над отрезком между пунктами A_i и A_j на величину V . Будем представлять себе, что при назначении УТС столбики гистограммы *обрезаются снизу* на высоту V – происходит освоение требуемого пассажиропотока.

Рассмотрим последовательный процесс назначения транспортных средств на маршрут. На рисунке 4 показано, как имеющиеся УТС «отрезают» нижнюю часть гистограм-

мы. На рисунке 4 показано, как имеющиеся УТС «отрезают» нижнюю часть гистограм-

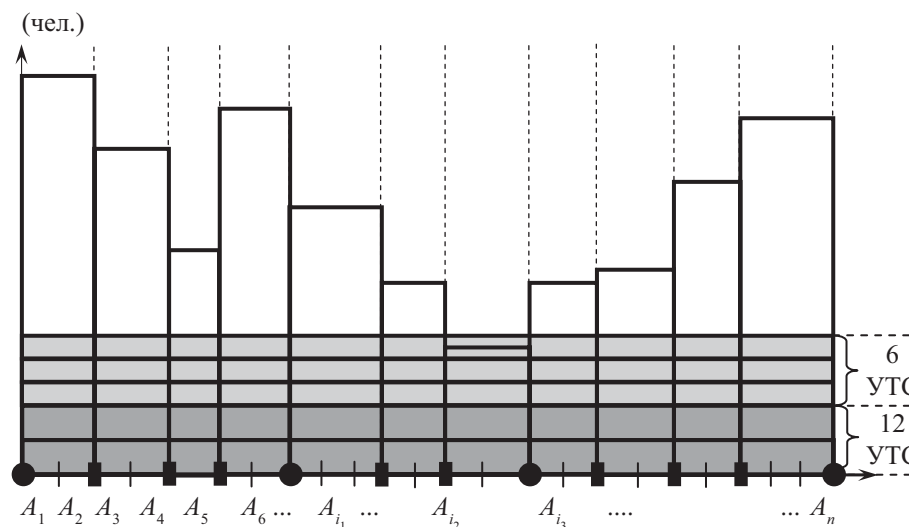


Рис. 4. Освоение пассажиропотока условными транспортными средствами

мы требуемых объемов перевозок пассажиров на маршруте $A_1 - A_n$. Снизу показаны УТС, соответствующие либо электропоезду, отправляющемуся из пункта A_1 в A_n в течение данного часа, либо 12 автобусам.

Выбор электропоезда или автобусов зависит от технико-технологических и инфраструктурных ограничений железной и автомобильной дороги. Отметим, что, как правило, в первую очередь на маршрут назначаются электропоезда, имеющиеся в расписании от момента t до момента $t + 1$. Это объясняется требованием высокой загрузимости электропоездов с целью повышения рентабельности железнодорожных пассажирских перевозок и, как следствие, снижением дотаций на них из регионального бюджета.

Далее производится назначение рейсовых автобусов большой вместимости на маршрут $A_1 - A_n$ следующим образом.

На всю длину маршрута $A_1 - A_n$ назначается такое количество автобусов большой вместимости, чтобы их суммарная вместимость полностью покрыла высоту минимального столбца диаграммы. При этом не должно появиться полосы от A_1 до A_n , проходящей целиком выше минимального столбца (целиком пустого рейса на отрезке маршрута под минимальным столбцом). Полосы, соответствующие автобусам большой вместимости, составляют на рисунке 4 группу «6 УТС».

Определенное таким образом количество рейсов автобусов большой вместимости является оптимальным, поскольку:

меньшим количеством прямых рейсов от A_1 до A_n обойтись нельзя. Например, в случае, когда весь минимальный столбец состоит из пассажиров, желающих проехать напрямую из пункта A_1 до пункта A_n , меньшее количество прямых рейсов означает, что некоторые пассажиры окажутся непереvezенными или вынужденными ехать с пересадкой;

большее количество рейсов (есть полоса, целиком проходящая над минимальным столбцом) является излишним, поскольку не соблюдается условие рациональной загрузки транспортных средств. Назначение до-

полнительного прямого рейса означает отток на добавленный рейс части пассажиров (по крайней мере на минимальном участке $A_{i_2} - A_{i_3}$), что влечет уменьшение наполняемости электропоездов и неэффективное использование остальных прямых автобусных рейсов.

Сказанное означает, что настоящая методика в соответствии с дискретной оптимизационной теоремой о минимальном разрезе [7], [8] потока (минимальный столбец диаграммы) определяет оптимальное количество автобусов большой вместимости, необходимых для освоения пассажиропотока между начальной и конечной точками маршрута.

После освоения потока, соответствующего потребности между начальной и конечной точками маршрута, гистограмма требуемых объемов перевозок распадается на части (рис. 5). Эти части соответствуют уже более коротким отрезкам исходного маршрута (маршруты $A_1 - A_{i_2}$ и $A_{i_3} - A_n$). В каждой из частей распавшейся гистограммы имеются еще не освоенные объемы перевозок. Эти объемы осваиваются автобусами средней и малой вместимости точно так же, как был освоен весь длинный маршрут – по принципу вычерпывания минимального столбца гистограммы, только теперь он применяется к более коротким частям гистограммы маршрута.

На рисунке 6 показано освоение требуемого объема перевозок на правой части распавшейся гистограммы.

Рисунок 6 следует прокомментировать дополнительно, поскольку он иллюстрирует случай, когда разрезание гистограммы по минимальному столбцу не приводит к распаду гистограммы на две части – минимальный столбец находится в крайней позиции (гистограмма монотонна, её столбцы монотонно возрастают или монотонно убывают по величине). В этом случае назначение для перевозки пассажиров автобусов средней и малой вместимости определяется естественными соображениями:

1) в соответствии с количественным составом автопарка, имеющегося в распоряжении автотранспортных предприятий;

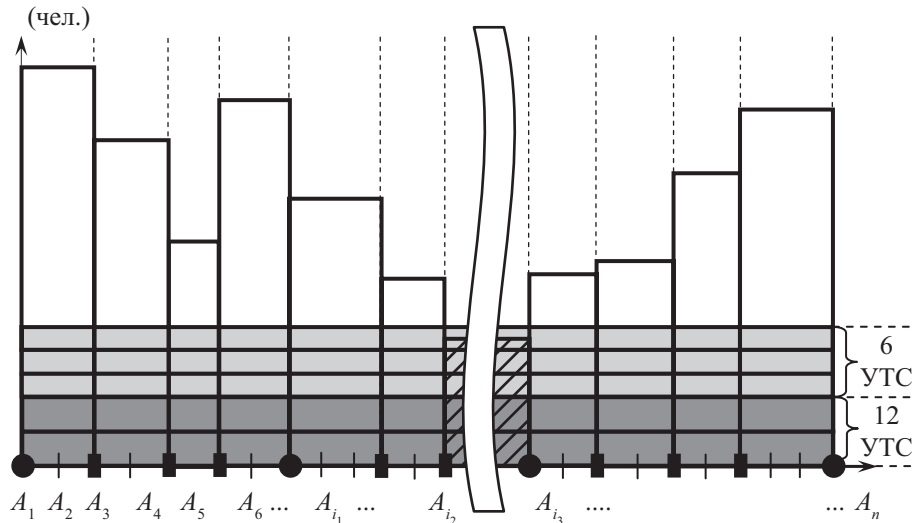


Рис. 5. Распад гистограммы требуемых объемов перевозок на части по минимальному столбцу

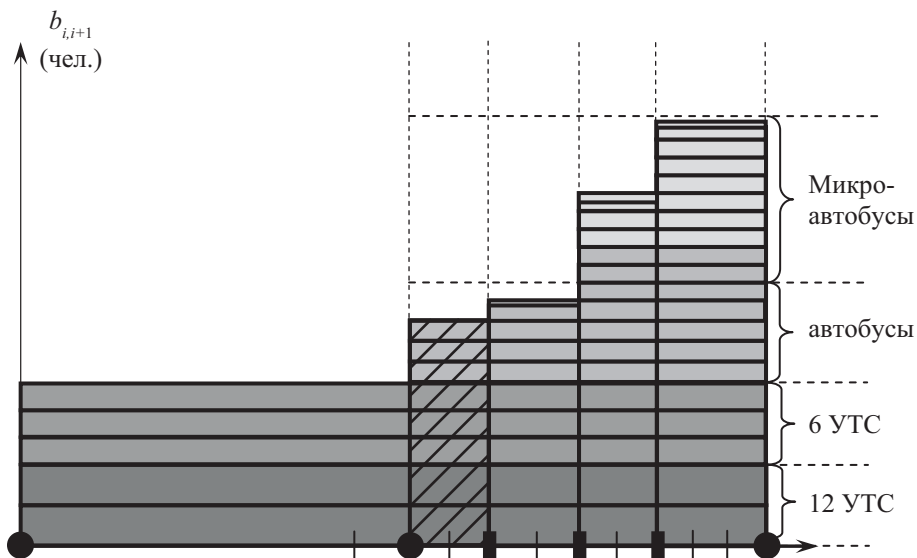


Рис. 6. Освоение пассажиропотока на правой части распавшейся гистограммы

2) на более длинные маршруты разумно назначать более вместительные автобусы, именно перевозкам этими автобусами соответствуют минимальные столбцы монотонной гистограммы (см. рис. 6).

Заключение

Методика формирования оптимальной маршрутной сети регулярного пассажирского транспорта построена исходя из критерия

экономической эффективности – снижения дотаций на перевозки из регионального бюджета, с учетом технико-технологических ограничений, ограничений по провозной способности железнодорожного транспорта для *существующей дорожной и железнодорожной инфраструктуры*. Применение данной методики позволяет:

– оптимизировать маршруты, обслуживаемые как одним, так и несколькими видами транспорта;

– определять оптимальное количество транспортных средств *каждого типа* для обслуживания данного маршрута;

– назначать каждому транспортному средству начальную и конечную точки его маршрута и набор остановочных пунктов;

– в комплексе рассматривать различные виды транспорта, их совместное влияние и участие в перевозке пассажиропотока.

Назначения, определяемые методикой, полностью удовлетворяют потребность в перевозке пассажиров на всей протяженности маршрута с учетом промежуточных пунктов.

Кроме того, предусматривается возможность интермодальных маршрутов, может применяться в случаях, когда часть маршрута обслуживается железнодорожным транспортом и на маршруте имеются пункты стыковки железнодорожного и автомобильного транспорта.

Отметим в заключение, что предложенная методика успешно апробирована в Свердловской области.

Библиографический список

1. **Организационные** структуры как мультиоператорные сети. Задачи прочности и устойчивости / В. М. Сай, С. В. Сизый // Транспорт Урала. – 2009. – № 2 (21). – С. 5–9.

2. **Доверительная** оценка предприятий и выработка управленческих решений по взаимодействию с поставщиками продукции и услуг для хозяйствующих подразделений железнодорожного транспорта / В. М. Сай, С. В. Сизый, В. К. Фомин // Известия ПГУПС. – 2011. – № 2. – С. 7–16.

3. **О моделировании** взаимодействия автомобильного, авиационного (малая авиация) и железнодорожного транспорта в области пассажирских перевозок / В. М. Сай, С. В. Сизый, А. М. Сидоренко // Вестник УрГУПС. – 2012. – № 3 (15). – С. 43–54.

4. **Сетевая** поддержка предприятий в градуированных организационных сетях / С. В. Сизый // Вестник УрГУПС. – 2010. – № 1 (5). – С. 55–69.

5. **Организация** содержания транспортной инфраструктуры в сетях с разделенными интересами с применением математической теории автоматов / В. М. Сай, С. В. Сизый, С. В. Вихарев, К. А. Варанкина // Вестник УрГУПС. – 2011. – № 3 (11). – С. 42–54.

6. **Геометрическая** прочность сетей. Признаки и показатели надежности сетевых структур / С. В. Сизый, В. В. Маевский // Транспорт, наука, техника, управление. – 2010. – № 11. – С. 10–17.

7. **Потоки** в сетях / Л. Р. Форд, Д. Фалкерсон. – М.: Мир, 1966. – 276 с.

8. **Методы** анализа сетей / Д. Филипс, А. Гарсия-Диас. – М.: Мир, 1984. – 496 с.

УДК 625.1.03:629.4.027.432

А. Б. Кильдибеков, А. В. Шилер, В. В. Шилер

Омский государственный университет путей сообщения

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ С ГИБКИМИ БАНДАЖАМИ И РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ

Представлено новое техническое решение конструкции колесной пары с гибкими бандажами и независимым вращением поверхностей катания. Разработана и обоснована расчетная схема движения колесной пары с гибкими бандажами в рельсовой колее. В точке контакта гибкого бандажа и рельса сила трения скольжения представлена двумя составляющими: «покою» и проскальзывания («крип»). В математической модели возмущения представлены пространственными неровностями