



Схематический график движения пригородных поездов по выходным дням



Юрий ПАЗОЙСКИЙ
Yury O. PAZOYSKIY

Максим САВЕЛЬЕВ
Maxim Yu. SAVELIEV



Пазойский Юрий Ошарович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой железнодорожных станций и узлов Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.

Савельев Максим Юрьевич — кандидат технических наук, доцент Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.

Schematic Schedule of Suburban Trains on Weekends

(текст статьи на англ. яз. —
English text of the article — p. 145)

Особенностью пригородных перевозок является неравномерность распределения пассажиропотоков по сезонам года, дням недели и часам суток. Ввиду такой дифференциации по часам суток график движения пригородных поездов по предвыходным и выходным дням существенно отличается от графика по рабочим дням. В статье предлагается методика максимизации числа пригородных поездов в графике движения на выходные дни при фиксированном количестве составов, что даёт возможность плавного перехода от базового графика движения к графику в пиковый период без увеличения числа составов в обороте.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, пригородные поезда, перевозочный процесс, организация пассажирских перевозок.

Пригородные пассажирские перевозки отличаются от перевозок дальнего и местного сообщения рядом существенных особенностей. К их числу относится массовость, неравномерность распределения по зонам, временам года, дням и часам суток [1].

Важная особенность — неравномерность распределения пригородных пассажиропотоков по сезонам года, дням недели и часам суток. Как отмечают многие авторы [2–4], из-за подобного характера распределения по часам суток график движения пригородных поездов по предвыходным и выходным дням существенно отличается от графика по рабочим дням. Проведённый анализ реальных графиков движения и распределения пригородного пассажиропотока по времени суток и длине пригородного участка в рабочие и выходные дни показывает [5], что в выходные необходимо увеличивать размеры движения поездов в неинтенсивные периоды. Кроме того, требуется удлинять маршруты части поездов, следующих на ближние технические зоны. Поэтому при построении графика на выходные дни возникает проблема увеличения числа составов при-

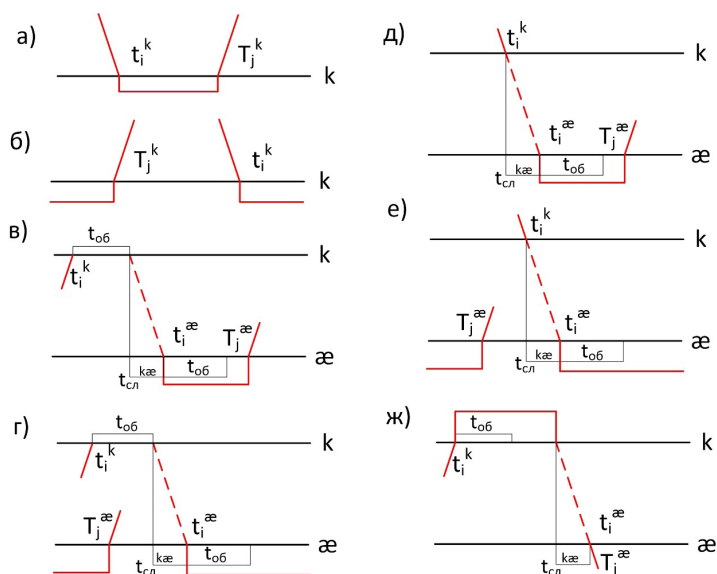


Рис. 1. Варианты увязки расписаний прибытия и отправления составов пригородных поездов, где а) и б) – увязка расписаний по одной станции; в) и г) – увязка расписаний по разным станциям с изменением направления следования поездов; д), е), ж) – увязка расписаний по разным станциям без изменения направления следования поездов.

городных поездов в общем обороте, что приводит к существенным экономическим убыткам. Для решения проблемы в этих обстоятельствах увеличения размеров движения следует добиваться только за счёт интенсификации использования пригородных составов, не увеличивая их парк.

Основой разработки схематического графика движения по выходным дням является график пригородных поездов и график оборота пригородных составов по рабочим дням. Ранее [6, с. 212–219] уже рассматривался вопрос о создании графика оборота составов пригородных поездов на предвыходные и выходные дни, но в предлагавшейся методике увязка составов производится отдельно по каждой станции пригородного участка, что приводит к увеличению размерности задачи.

Методику построения схематического графика движения поездов по выходным дням разберём на расчётном примере. Подобная методика использовалась [7] для интенсификации размеров движения пассажирских поездов дальнего следования в пиковые периоды, но существенные отличия в организации пригородных и дальних пассажирских перевозок заставляют вносить в прежние варианты определённые коррективы.

Упорядочим по возрастанию все моменты прибытия и отправления поездов на станции оборота пригородного участка в схематическом графике движения по рабочим дням недели. Обозначим t_i^k – рас-

писания прибытия поездов на станции оборота пригородных составов k , а через $T_j^{жс}$ – расписания отправления поездов со станции $жс$.

Математическая модель задачи построения схематического графика движения в выходные дни представляет собой целочисленную линейную модель с булевыми переменными

$$x_{ij}^{жс} = \begin{cases} 1, & \text{если } t_i^k \text{ увязывается с } T_j^{жс} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (1)$$

Так как каждое расписание прибытия может быть связано только с одним расписанием отправления и, наоборот, каждое расписание отправления – только с одним расписанием прибытия, переменные $x_{ij}^{жс}$ удовлетворяют следующей системе уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n x_{ij}^{жс} = 1, \forall j = \overline{1, n} \\ \sum_{j=1}^n x_{ij}^{жс} = 1, \forall i = \overline{1, n}. \end{cases} \quad (2)$$

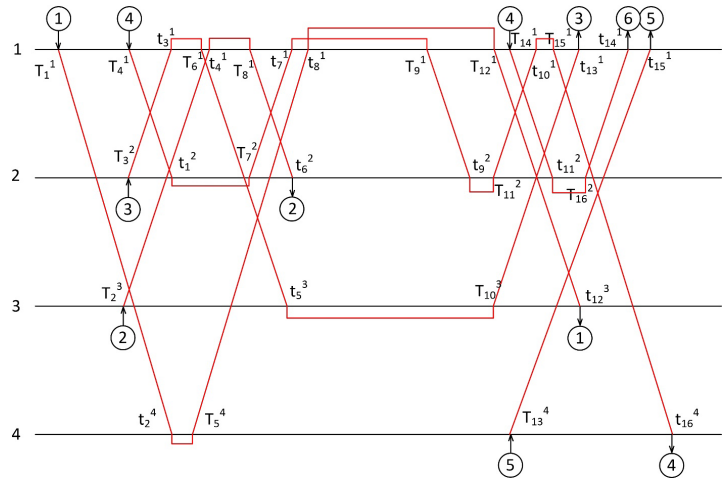
Введём матрицу оценок увязки расписаний прибытия t_i^k с расписаниями отправления $T_j^{жс}$ с элементами (3).

При этом $t_{об}$ – норма оборота составов пригородных поездов на станции.

Варианты увязки расписаний t_i^k с $T_j^{жс}$ и T_j^k представлены на рис. 1.



Рис. 2. Схематический график движения пригородных поездов на расчётном полигоне по рабочим дням недели.



$$C_{ij}^{kk} = \begin{cases} 0, & \text{если } t_i^k + t_{06} \leq T_j^k \\ 1, & \text{если } t_i^k + t_{06} > T_j^k, \forall i, j; \end{cases}$$

$$C_{ij}^{k\alpha} = \begin{cases} 0, & \text{если } t_i^k + t_{06} + t_{cl}^{k\alpha} \leq T_j^{\alpha}; \alpha \neq k \text{ при сохранении} \\ & \text{направления следования поезда,} \\ 0, & \text{если } t_i^k + 2t_{06} + t_{cl}^{k\alpha} \leq T_j^{\alpha}; \alpha \neq k \text{ при изменении} \\ & \text{направления следования поезда,} \\ 1 - & \text{в противных случаях.} \end{cases} \quad (3)$$

Число составов, обращающихся на пригородном участке при фиксированном варианте увязки расписаний прибытия и отправления поездов, определяется из условия минимизации величины:

$$M = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij}^{k\alpha} x_{ij}^{k\alpha}. \quad (4)$$

Задача минимизации общего числа составов (4) при ограничениях (1)–(3) эквивалентна задаче о размещении наибольшего числа единиц в нулевые клетки матрицы стоимостей при условии, что в каждом ряду матрицы может быть размещена не более чем одна единица.

В качестве примера рассмотрим схематический график движения поездов по рабочим дням недели для пригородного участка с четырьмя станциями оборота пригородных составов (рис. 2).

Для примера схематического графика движения пригородных поездов по рабочим дням недели, представленного на рис. 2, потребуется шесть составов электропоездов. Увязку составов сделаем по методике, приведённой в [8].

Для разработки графика движения пригородных поездов на выходные дни составим матрицу оценок увязки расписаний

$\{C_{ij}^{k\alpha}\}$ (таблица 1) при допущении, что $t_{06} = 0$.

Процесс решения задачи начинается с произвольного допустимого размещения единиц в нулевые клетки матрицы $\{C_{ij}^{k\alpha}\}$.

Поместим единицу в тринадцатую клетку первой строки (с наибольшим пробегом поезда). Затем вычёркиваем первую строку и тринадцатый столбец и продолжаем эту процедуру до тех пор, пока не получим матрицу, состоящую только из единиц.

Помечаем чёрточкой строки, не содержащие единичных прикреплений ($x_{ij}^{k\alpha} = 1$).

Просматриваем помеченные строки, находим нулевую клетку и соответствующий столбец помечаем номером этой строки, переходим к следующей помеченной, ещё не просмотренной строке и так далее, пока не пройдём все помеченные строки.

Просматриваем помеченный столбец, находим в нём единичное прикрепление ($x_{ij}^{k\alpha} = 1$) и помечаем соответствующую строку номером этого столбца и так далее, пока не пройдём все помеченные столбцы.

Затем переходим к просмотру строк и пометке столбцов.

Таблица 1

Матрица оценок увязки расписаний $\{C_{ij}^{k\alpha\epsilon}\}$ с первоначальным прикреплением

	T_1^1	T_2^3	T_3^2	T_4^1	T_5^4	T_6^1	T_7^2	T_8^1	T_9^1	T_{10}^3	T_{11}^2	T_{12}^1	T_{13}^4	T_{14}^1	T_{15}^1	T_{16}^2	
t_1^2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	13
t_2^4	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	9
t_3^1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	10
t_4^1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
t_5^3	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	12
t_6^2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	14
t_7^1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	16
t_8^1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	11
t_9^2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	15
t_{10}^1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	-
t_{11}^2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	-
t_{12}^3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-
t_{13}^1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-
t_{14}^1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-
t_{15}^1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-
t_{16}^4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-
								1	1	7	7	7	7	7	7	10	10

Таблица 2

Матрица оценок увязки расписаний $\{C_{ij}^{k\alpha\epsilon}\}$ после пересчёта прикреплений

	T_1^1	T_2^3	T_3^2	T_4^1	T_5^4	T_6^1	T_7^2	T_8^1	T_9^1	T_{10}^3	T_{11}^2	T_{12}^1	T_{13}^4	T_{14}^1	T_{15}^1	T_{16}^2
t_1^2	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
t_2^4	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
t_3^1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
t_4^1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
t_5^3	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
t_6^2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
t_7^1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0
t_8^1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
t_9^2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1
t_{10}^1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
t_{11}^2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
t_{12}^3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
t_{13}^1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
t_{14}^1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
t_{15}^1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
t_{16}^4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

В ходе процесса возможны два случая: либо процесс расстановки пометок прервётся, либо мы пометим столбец, не содержащий единичных прикреплений.

В первом случае получаем оптимальное прикрепление расписаний прибытия к расписаниям отправления. Во втором — возможность увеличить число прикреплений на единицу. Для этого, следуя по пометкам, заносим единичное прикрепление в клетку столбца, соответствующую пометке, убираем единичное прикрепление

из клетки строки, соответствующей пометке этой строки, и так далее, пока не пометим строку, первоначально выделенную чёрточкой. В нашем примере мы убрали прикрепление из клеток (1, 13) и (7, 16), а ввели прикрепления в клетки (1, 8), (7, 13) и (10, 16). Итоговая матрица приведена в таблице 2.

Дальнейший пересчёт невозможен, поскольку процесс расстановки пометок прерывается. Мы получили оптимальное прикрепление расписаний, представлен-



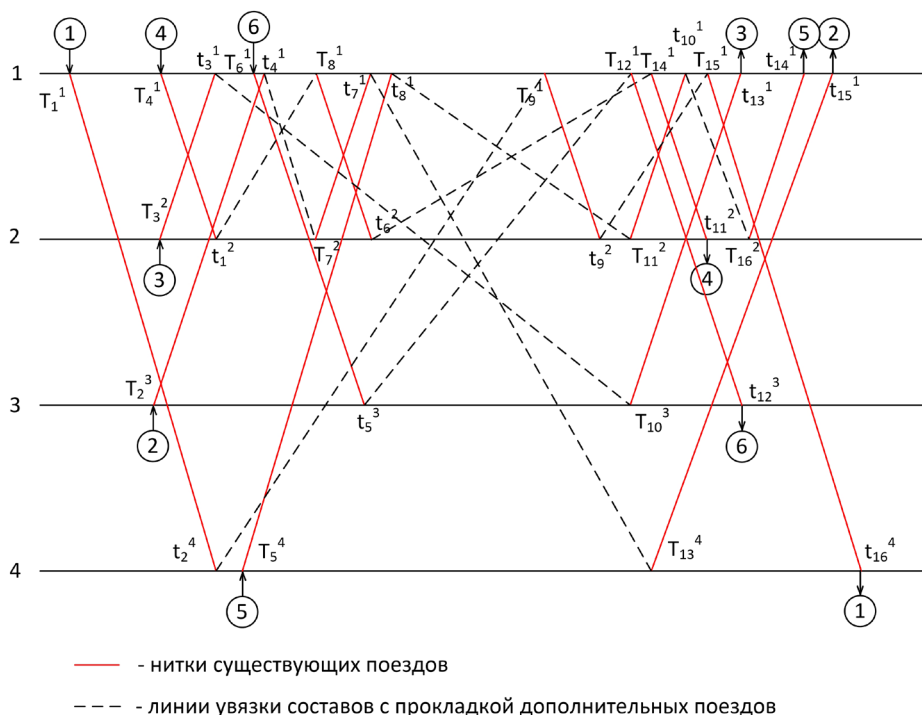


Рис. 3. Оптимальный вариант увязки расписаний при интенсификации использования подвижного состава.

ное на рис. 3, которое обеспечивает увеличение размеров движения электропоездов на пять пар с таким же количеством составов в обороте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дранченко Ю. Н. Особенности организации пригородных пассажирских перевозок в различных странах мира // Вестник транспорта. — 2015. — № 10. — С. 28–33.
2. Вакуленко С. П., Колин А. В. О критериях определения категорий пригородных поездов // Мир транспорта. — 2012. — № 6. — С. 16–21.
3. Верховых Г. В., Зайцев А. А., Котенко А. Г. и др. Железнодорожные пассажирские перевозки: Монография / Под ред. Г. В. Верховых. — СПб.: Центр «Русич», «Паллада-медиа», 2012. — 520 с.
4. Куренков П. В., Дранченко Ю. Н., Волкова С. А. Научно-методические рекомендации по решению первоочередных задач для пассажирских перевозок в системе «город-пригород» // Транспорт: наука, техника, управление. — 2016. — № 1. — С. 4–13.
5. Пазойский Ю. О., Вакуленко С. П., Колин А. В. и др. Организация пригородных железнодорожных перевозок: Учеб. пособие / Под ред. Ю. О. Пазойского. — М.: УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2015. — 270 с.
6. Пазойский Ю. О., Шубко В. Г., Вакуленко С. П. Пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте (примеры, задачи, модели, методы и решения). — М.: УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2015. — 342 с.

7. Пазойский Ю. О., Савельев М. Ю., Батурин А. П. Максимизация числа пассажирских поездов дальнего следования в период роста пассажиропотоков за счёт интенсификации использования состава поездов // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. — 2016. — № 9. — С. 166–172.

8. Пазойский Ю. О., Савельев М. Ю., Милков А. Ю. Увязка составов пассажирских поездов разных назначений в общий оборот // Транспорт: наука, техника, управление. — 2015. — № 9. — С. 7–14.

9. Вакуленко С. П., Куренков П. В., Дранченко Ю. Н. Обзор и анализ научных исследований пассажирских перевозок в мегаполисной системе «город-пригород» // Вестник транспорта. — 2016. — № 9. — С. 37–42.

10. Вакуленко С. П., Копылова Е. В., Белянкин А. Ю. Оценка целесообразности формирования логистических систем обслуживания пассажиров // Мир транспорта. — 2015. — № 2. — С. 122–128.

11. Гудкова В. П. Государственное регулирование в сфере пассажирских перевозок // Экономика железных дорог. — 2013. — № 4. — С. 76–84.

12. Дранченко Ю. Н. Железная дорога в городе // Железнодорожный транспорт. — 2013. — № 12. — С. 81–84.

13. Куренков П. В., Андреев А. В. Научно-методические предложения по повышению эффективности работы пригородного комплекса железнодорожного транспорта // Вестник транспорта. — 2008. — № 12. — С. 31–34.

14. Резер С. М. Логистика пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте: Монография. — М.: ВИНТИ РАН, 2007. — 515 с.

Координаты авторов: **Пазойский Ю. О.** — pazoyskiy@mail.ru, **Савельев М. Ю.** — smy87@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 09.11.2017, принята к публикации 27.12.2017.