

УДК 656.222.3

*ХЭ ХУН, магистр технических наук, Железнодорожный политехнический институт Гуанчжоу, Китай*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ ФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВОВ И РЕЖИМОВ ОСТАНОВОК ПОЕЗДОВ НА ПРИГОРОДНОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЛИНИИ ГУАНЧЖОУ – ЦИНХАЙ И ВОСТОЧНОЙ КОЛЬЦЕВОЙ ЛИНИИ ГУАНЧЖОУ

Выполнено моделирование схем формирования составов и режимов остановок поездов. На примере пригородных железнодорожных линий Гуанчжоу – Цинхай и восточной кольцевой линии показано, что по сравнению с текущим расписанием предложенный вариант остановок поездов разной составности позволяет снизить эксплуатационные затраты на 59 %, а средний коэффициент полной загрузки на перегоне увеличивается с 0,2888 до 0,8665. Это указывает на эффективность данного подхода в снижении затрат и повышении коэффициента загрузки.

На начальном этапе эксплуатации пригородных железнодорожных линий зачастую возникают нерациональные эксплуатационные затраты, связанные с низкой заполняемостью поездов и выбором нерациональных режимов их остановок в пути следования. В связи с этим актуальной задачей исследования является формирование вариантов организации движения поездов с различными схемами формирования поездов и различными режимами остановок в пути следования.

Для решения данной задачи предлагается использовать модель, в основе которой лежит поиск оптимальных решений с использованием генетического алгоритма. Благодаря широкому охвату и высокой степени проникновения в пространство возможных решений он обладает хорошей глобальной сходимостью и способен быстро находить удовлетворительные решения. С использованием двоичного кодирования тип состава поездов и наличие остановок на каждой станции кодируются с помощью переменных 0 и 1. Таким образом, тип состава и последовательность остановок каждого поезда образуют хромосому.

В качестве примера рассматриваются междугородние железные дороги Гуанчжоу – Цинхай и восточная кольцевая линия Гуанчжоу, открытые 30 ноября 2020 года.

### 1 Общие сведения о пригородной железнодорожной линии Гуанчжоу – Цинхай и восточной кольцевой линии Гуанчжоу.

Пригородная железнодорожная линия Гуанчжоу – Цинъюань (Хуаду – Цинъюань) и Восточная кольцевая линия Гуанчжоу (северный выход аэропорта Байюнь – станция Хуаду) управляются и эксплуатируются компанией «Гуандунская пригородная железнодорожная компания», дочерней компанией Группы метрополитена Гуанчжоу. Обе линии пересекаются на станции Хуаду и работают по схеме «Гуанчжоу – Цинъюань + Восточный кольцевой маршрут Гуанчжоу», соединяя город Гуанчжоу с городом Цинъюань. Общая протяжённость линии составляет около 60,8 км, на ней расположено 9 станций. (рисунок 1).

Данные линии обслуживают восьмивагонные составы. Существуют два варианта остановок: остановки на крупных зонных станциях (Цинчэн, Хуаду, аэропорт Байюнь-север) и остановки на всех станциях. Для удобства последующих расчётов станции железно-

рожных линий последовательно пронумерованы от 1 до 9 в направлении от Цинчэна к аэропорту Байюнь-север.

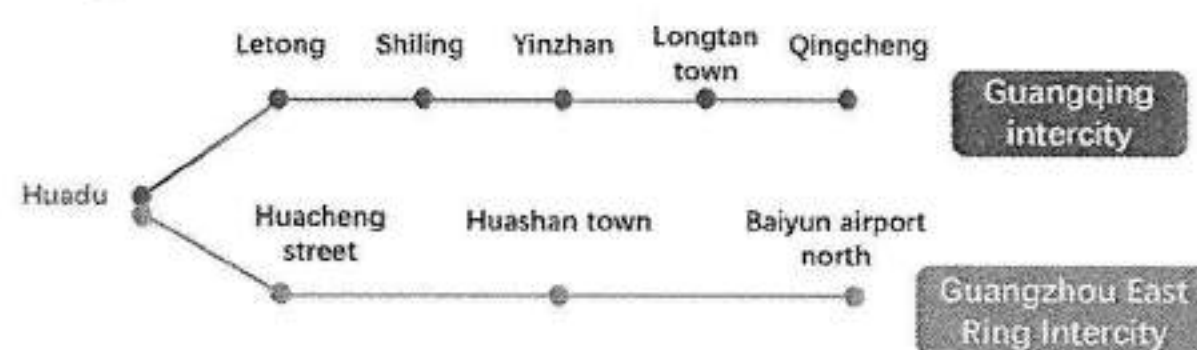


Рисунок 1 – Маршруты пригородной железнодорожной линии Гуанчжоу – Цинхай и восточной кольцевой линии Гуанчжоу

На основе статистических данных о пассажиропотоках за один день для данных маршрутов установлены часовые пассажиропотоки (рисунок 2).

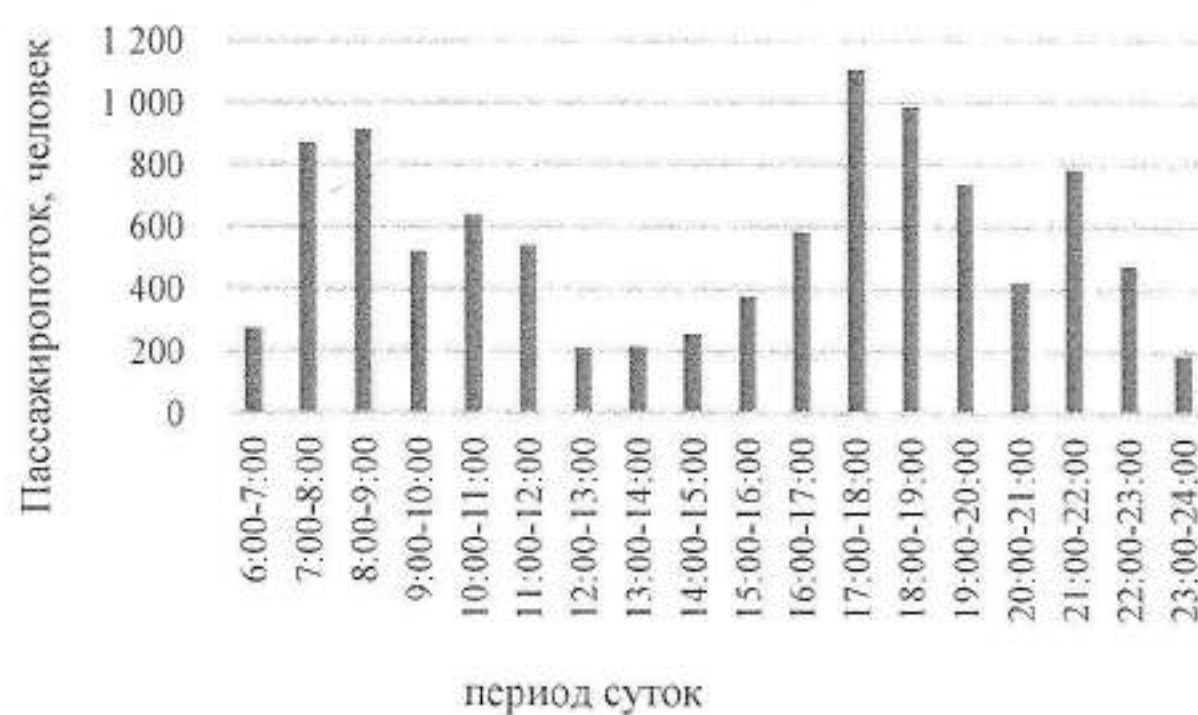


Рисунок 2 – Распределение пассажиропотока по часам суток

Как видно из приведённой на рисунке 2 диаграммы, пассажиропоток на этом междугороднем железнодорожном маршруте в течение суток демонстрирует явные колебания, в целом проявляясь в виде двух пиков и трёх падений. Пиковые периоды – с 7:00 до 11:00 и с 17:00 до 19:00. Падения наблюдаются в периоды с 6:00 до 7:00, с 12:00 до 15:00 и с 23:00 до 6:00 следующего дня.

На основе данных о посадке-высадке пассажиров на станциях участков построена поперечная диаграмма пассажиропотоков (рисунок 3). Как видно из рисунка 3, наибольший пассажиропоток наблюдается на перегонах 5–6 и 6–7.

Таким образом, пассажиропоток на пригородной железнодорожной линии Гуанчжоу – Цинъюань и Восточной кольцевой линии Гуанчжоу характеризуется неравномерным пространственно-временным распре-

делением, при этом наибольший объём пассажиров приходится на утренние и вечерние пиковые часы. Распределение по станциям посадки-высадки также неравномерно: подавляющее большинство пассажиров совершают поездки между крупными зонными станциями, тогда как пассажиропоток на промежуточных станциях остаётся относительно низким.

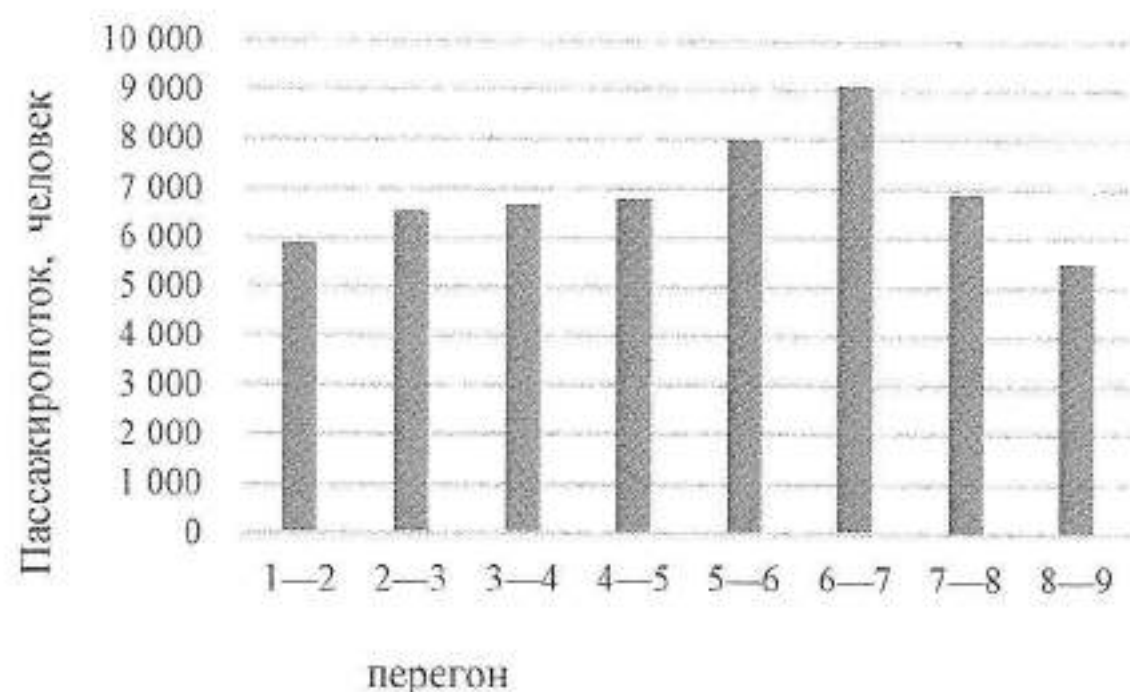


Рисунок 3 – Поперегонная диаграмма пассажиропотоков

## 2 Настройка параметров модели

Разработана модель выбора оптимальных вариантов организации движения поездов с различными схемами формирования и различными режимами остановок в пути следования. Для выбора вариантов решения используется генетический алгоритм.

Параметры модели определяются в соответствии с «Нормами проектирования междугородных железных дорог», конкретными условиями маршрута, нормативами эксплуатации междугородных железных дорог [1, 2]. Основные исходные параметры модели приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения параметров модели

Параметр	Значение
Стоимость эксплуатации подвижного состава $C_p$ , юань/км·ч	10
Стоимость остановки одного состава $C_s$ , юань/состав	100
Номинальная вместимость каждого вагона $C$ , чел.	66
Общая протяжённость линии $L$ , км	59,6
Верхний предел коэффициента загрузки подвижного состава $\eta_{max}$ , %	100
Нижний предел коэффициента загрузки подвижного состава $\eta_{min}$ , %	20
Максимальное число вагонов в одном составе $f_{max}$ , ваг.	8
Минимальное число вагонов при отправлении состава 1-го типа $f_{1min}$ , ваг.	1
Минимальное число вагонов при отправлении состава 2-го типа $f_{2min}$ , ваг.	1
Максимальный поток пассажиров, одновременно выполняющих посадку в состав 1-го типа $q_1$ , чел./состав	200
Максимальный поток пассажиров, одновременно выполняющих посадку в состав 2-го типа $q_2$ , чел./состав	75
Количество вагонов в составе 1-го типа $g_1$ , ваг.	8
Количество вагонов в составе 2-го типа $g_2$ , ваг.	4

Для определения загрузки составов в модели выполнен анализ распределения посадки-высадки пассажиров на станциях участков. Данные получены за ве-

черный пиковый период (вторник, 19 января 2021 года, с 17:00 до 19:00) и представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Распределение посадки/высадки пассажиров в вечерний пиковый период (17:00–19:00)

OD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Итого
1	–	14	18	18	8	86	30	32	68	274
2		–	0	14	0	18	8	0	18	58
3			–	0	2	16	4	0	12	34
4				–	6	50	8	6	24	94
5					–	34	4	0	12	50
6						–	118	76	148	342
7							–	8	42	50
8								–	13	26
9									–	0
Итого	0	14	18	32	16	204	172	122	350	928

## 3 Результаты моделирования

*Сходимость алгоритма.* На основе построенной модели и алгоритма были сгенерированы схемы движения поездов с разными составами по маршрутам пригородных линий Гуанчжоу – Цинчжоу и Гуанчжоу – Дунхуань. Итерационная сходимость генетического алгоритма модели показана на рисунке 4.

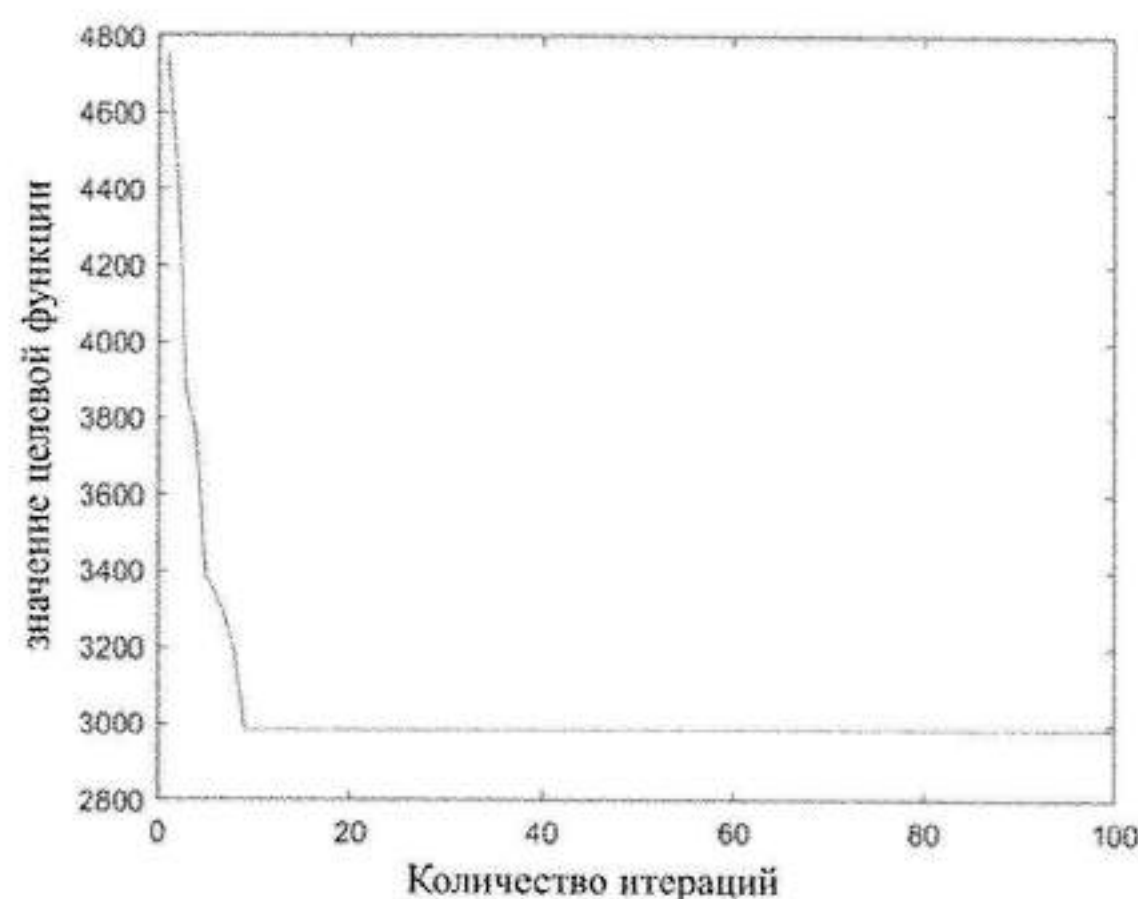


Рисунок 4 – Итерации генетического алгоритма и его сходимость

Использование генетического алгоритма для решения данной модели обладает высокой сходимостью, эффективно решает задачу по определению схем движения поездов с разными размерами маршрутов и составов в различных режимах остановок, характеризуется высокой эффективностью вычислений. Параметры модели, включая количество итераций, настроены эффективно, что обеспечивает достижение локального оптимума.

*Результаты оптимизации модели.* С использованием модели оптимизации установлено расписание движения поездов, их составность и режимы стоянок. В пиковые часы рекомендуется запускать 2 поезда по 4 вагона и 1 поезд по 8 вагонов (таблица 3). При этом в действующем расписании, предусматривается 6 поездов по 8 вагонов (таблица 4). Оптимизация эксплуата-

ционных затрат на движение поездов достигает 59 %, а оптимизация коэффициента использования вместимости подвижного состава – 200 %. (таблица 5).

Таблица 3 – Предлагаемый вариант организации движения поездов в часы пик

Поезд	Станция									Количество вагонов в составе
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	4
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8
3	0	0	0	0	0	1	1	0	1	4

Примечание – 0 – поезд не останавливается на этой станции; 1 – поезд останавливается на этой станции.

Таблица 4 – Существующий вариант организации движения поездов в часы пик

Поезд	Станция									Количество вагонов в составе
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	8
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8
3	1	0	0	0	0	1	0	0	0	8
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8
5	1	0	0	0	0	1	0	0	0	8
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8

Таблица 5 – Результаты оптимизации расписания движения поездов

Показатель	Современное положение	Результат оптимизации	Оптимизированный объем	Коэффициент оптимизации
Эксплуатационные расходы, юань	6270	2560	-3710	59
Коэффициент использования вместимости подвижного состава, %	28,9	86,7	+57,8	200

Получено 27.09.2025

**He Hong.** Modeling of train formation schemes and train stopping modes on the Guangzhou–Qinghai commuter railway line and the Guangzhou Eastern Circle Line.

Modeling of train formation schemes and train stopping modes was conducted. Using the Guangzhou – Qinghai commuter rail line and the Eastern Circle Line as examples, it was shown that, compared to the current schedule, the proposed stopping option for trains with different train configurations reduces operating costs by 59 %, while the average full load factor on the section increases from 0,2888 to 0,8665, demonstrating the effectiveness of this approach in reducing costs and increasing the load factor.

Оптимизация схемы остановок, реализованная в модели, позволяет улучшить работу железнодорожных маршрутов. До оптимизации на пригородной линии Гуанчжоу – Цинчэн и на восточной кольцевой линии Гуанчжоу следовали только прямые поезда с остановками на всех станциях (см. таблицу 4). После оптимизации для одного поезда предусматриваются остановки на всех станциях и для двух – только на зонных станциях (станции Хуаду – Хуачэнцзе – Байюнь-Аэропорт Север и Хуаду – Хуашаньчжэнь – Байюнь-Аэропорт Север), что позволяет лучше соответствовать реальным мощностям пассажиропотоков.

Вопросы оптимизации составности поездов и режимов их остановок имеют важное значение с точки зрения эксплуатационных затрат. Предложенная модель оптимизации расписания движения по сравнению с действующим расписанием позволяет снизить эксплуатационные расходы на 59 % и повысить коэффициент средней загрузки подвижного состава с 0,2888 до 0,8665. По мере развития инфраструктуры и оборудования вдоль новых пригородных линий будет постепенно формироваться спрос на пассажирские перевозки, что потребует корректировки расписания движения поездов, их режимов стоянок и составности.

#### Список литературы

- 1 Исследование оптимизации частоты движения межгородских поездов на основе деления по временным периодам / Мяо Вэньлинь, Ни Шаоцюань, Пэн Тин, Ван Вэньсянь // Железнодорожные перевозки и экономика. – 2017. – 39 (3).
- 2 Би Яньсян. Анализ влияния смешанного движения поездов с различным составом на линиях быстрого городского рельсового транспорта / Би Яньсян, Лю Цзяхуа, Цзян Чжибин // Исследования городского рельсового транспорта. – 2006. – 9 (12). – С. 54–57.