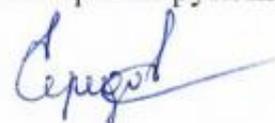


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

На правах рукописи



СЕРЕДОВ ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ФОРМИРОВАНИЕ МАРШРУТОВ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ НА
СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ С УЧЕТОМ ПРЕДПОЧТЕНИЙ
ПАССАЖИРОВ**

2.9.4. Управление процессами перевозок

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Пазойский Юрий Ошарович

Москва – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ РАСЧЕТА МАРШРУТНОЙ СЕТИ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ ДАЛЬНЕГО СЛЕДОВАНИЯ	11
1.1 Основные положения организации пассажирских перевозок на сети железных дорог Российской Федерации	11
1.2 Анализ структуры пассажиропотоков и поездопотоков на сети железных дорог Российской Федерации	18
1.3 Аналитический обзор научных исследований в сфере освоения пассажиропотока на железнодорожном транспорте	31
Выводы по главе 1.....	38
2 МЕТОДИКА РАСЧЕТА МАРШРУТНОЙ СЕТИ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ ДАЛЬНЕГО СЛЕДОВАНИЯ С УЧЕТОМ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ПАССАЖИРОВ ПО ВЫБОРУ ПОЕЗДОВ.....	40
2.1 Методика расчета оценки влияния предпочтений пассажиров на выбор поездов.....	41
2.1.1 Оценка влияния предпочтений пассажиров на выбор поездов пассажирами	42
2.1.2 Ранжирование пассажирских поездов дальнего следования в соответствии с предпочтениями пассажиров.....	50
2.2 Методика расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования.....	67
2.3 Математические модели расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования по факторам учета предпочтений пассажиров по выбору поездов.....	78

2.3.1 Математическая модель расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования для заданных составов поездов.....	78
2.3.2 Математическая модель расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования и определения схем составов поездов.....	91
2.4 Методика определения эксплуатационных затрат, приходящихся на пассажирский поезд дальнего следования	102
Выводы по главе 2.....	106
3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАССАЖИРОПОТОКА ПО ТИПАМ МЕСТ В ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДАХ ДАЛЬНЕГО СЛЕДОВАНИЯ	108
3.1 Кластерный анализ данных по пассажиропотокам	109
3.1.1 Общие сведения о кластерном анализе	109
3.1.2 Алгоритм кластерного анализа данных по пассажиропотокам	111
3.2 Корреляционный анализ маршрутов пассажирских поездов дальнего следования.....	117
Выводы по главе 3.....	123
4 ФОРМИРОВАНИЕ МАРШРУТНОЙ СЕТИ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ ДАЛЬНЕГО СЛЕДОВАНИЯ НА ВЫДЕЛЕННОМ ПОЛИГОНЕ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ.....	125
Выводы по главе 4.....	148
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	150
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	152
ПРИЛОЖЕНИЕ А	164
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	192

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Повышение требований пассажиров к сервису перевозок, а также усиление конкуренции железнодорожного транспорта с другими видами транспорта оказывают влияние на спрос в сегменте пассажирских перевозок дальнего следования.

В целях повышения качества и комфортабельности пассажирских перевозок возникает необходимость реализации различных мероприятий по формированию предложений пассажиров, связанных с изменением расписания движения пассажирских поездов в части установления более удобного для пассажиров времени прибытия на станции назначения и времени отправления с начальных станций. Установление потребного количества поездов на участке железной дороги должно определяться не только с учетом освоения расчетного пассажиропотока, но и с учетом предпочтений пассажиров. Однако в этом случае потребуется автоматизация процесса выработки входных данных с применением современных вычислительных технологий и математического моделирования. Математические модели принятия решений на основе теории нечеткой логики и нечетких множеств позволяют решать многокритериальные задачи, характеризующиеся противоречивостью и нестандартностью. В связи с этим нечеткие системы можно использовать и при формировании маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования. Под маршрутной сетью пассажирских поездов дальнего следования в данном случае понимается совокупность маршрутов поездов дальнего следования, определяющих:

- станции формирования и станции назначения поездов;
- число поездов за единицу времени;
- схемы составов поездов.

Математические модели расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования при обеспечении беспересадочного сообщения

пассажиропотоков и с учетом предпочтений пассажиров по выбору поездов способствуют повышению качества и комфортабельности пассажирских перевозок и, таким образом, усилению конкурентоспособности железнодорожного транспорта на рынке транспортных услуг.

Следует учитывать, что на эффективность пассажирских перевозок дальнего следования влияет и выбор схемы составов поездов. Выявление закономерности распределения пассажиропотока по типам мест в пассажирских поездах позволит установить оптимальные схемы составов поездов на основе предпочтений пассажиров и повысить уровень удовлетворения спроса пассажиров на перевозки.

Исследование существующей маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования позволит с помощью кластерного анализа данных по пассажиропотокам установить закономерности распределения пассажиров по типам мест в пассажирских поездах дальнего следования и выявить группы маршрутов, на которых можно разработать специальные мероприятия с целью привлечения дополнительного пассажиропотока на железнодорожный транспорт. Корреляционный анализ в ходе исследования позволит установить связь между анализируемыми переменными и, таким образом, определить вагоны «нужных» типов в составах поездов в зависимости от установленных переменных данных.

Степень научной разработанности темы

Вопросам планирования пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте посвящены исследования Ф.П. Кочнева, В.Г. Шубко, Ю.О. Пазойского, Н.В. Правдина, В.Я. Негрея, Ф.С. Гоманкова, Е.А. Макаровой, Т.Н. Каликиной, С.С. Жаброва, О.Н. Пановой, Н.А. Батуриной, В.Н. Шмаля, М.Ю. Савельева, В.А. Федорова, О.А. Никитина, Б.Ф. Андреева, Д.В. Глазкова, А.С. Начученко, А.М. Рудых и др.

Исследования теории нечетких множеств нашли отражения в работах Л. Заде, А. Кофмана, Р.Р. Ягера, С.А. Орловского, А.В. Леоненкова, А.М. Широкова и др.

Кластерному анализу данных посвящены работы Р. Трайона, Р. Сокэла, П. Снитома, Б.Г. Миркина, Н.Н. Колосовского, Л.С. Маркова и др.

Целью диссертационного исследования является повышение эффективности железнодорожных пассажирских перевозок за счет формирования маршрутов пассажирских поездов с учетом предпочтений пассажиров.

Задачи исследования, поставленные для достижения цели исследования:

- провести анализ существующих подходов к формированию маршрутов пассажирских поездов дальнего следования;
- разработать методику расчета оценки влияния предпочтений пассажиров на выбор поездов;
- разработать методику расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования, включающую математические модели расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования по факторам учета предпочтений пассажиров по выбору поездов;
- определить закономерности распределения пассажиропотока по типам мест в пассажирских поездах дальнего следования.

Объект исследования – пассажирские перевозки дальнего следования на сети железных дорог Российской Федерации.

Предмет исследования – маршруты пассажирских поездов дальнего следования.

Научная новизна исследования заключается в разработке новых научно-обоснованных технологических решений, направленных на формирование маршрутов пассажирских поездов на сети железных дорог с учетом предпочтений пассажиров. В диссертационном исследовании впервые предложены следующие основные решения и разработки:

- разработана оригинальная методика расчета оценки влияния предпочтений пассажиров на выбор поездов. Учет предпочтений пассажиров при расчете маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования

способствует повышению уровня удовлетворенности спроса пассажиров на перевозки и переходу части пассажиропотока с альтернативных видов транспорта на железнодорожный;

– разработана методика расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования, отличающаяся от известных учетом предпочтений пассажиров по выбору поездов, позволяющая установить распределение пассажиропотока по типам мест в составах поездов и определить необходимое количество пассажирских поездов дальнего следования на расчетном участке железной дороги. Включенные в методику новые математические модели расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования, отличающиеся от известных факторами учета предпочтений пассажиров по выбору поездов, позволяют более точно определять размеры движения пассажирских поездов на сети железных дорог и корреспонденции пассажиропотоков по поездам;

– предложен подход к определению закономерности распределения пассажиропотока по типам мест, позволяющий установить перспективные схемы составов поездов.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в том, что:

– разработанная методика расчета оценки влияния предпочтений пассажиров на выбор поездов позволяет строить функции принадлежности лингвистических переменных «вероятность выбора поезда пассажирами» и использовать полученные результаты при расчете маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования;

– разработанная методика расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования позволяет адаптировать задачу определения необходимого количества пассажирских поездов под различные условия эксплуатации и, тем самым, будет способствовать повышению уровня удовлетворенности спроса пассажиров на перевозки и переходу части пассажиропотока с альтернативных видов транспорта на железнодорожный,

что положительно отразится на доходе компаний-перевозчиков. Разработанные математические модели расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования по факторам учета предпочтений пассажиров по выбору поездов позволяют повысить конкурентоспособность железнодорожного транспорта на рынке транспортных услуг;

– предложенный подход к определению закономерности распределения пассажиропотока по типам вагонов может быть использован для получения перспективных схем составов поездов на различных маршрутах следования пассажирских поездов.

Методология и методы исследования основаны на анализе отечественной теории и практики в области пассажирских перевозок дальнего следования на сети железных дорог.

Положения, выносимые на защиту

– методика расчета оценки влияния предпочтений пассажиров на выбор поездов;

– методика расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования на участке сети железных дорог, включающая математические модели расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования по факторам предпочтений пассажиров по выбору поездов;

– подход к определению закономерности распределения пассажиропотока по типам мест.

Степень достоверности и апробация результатов исследования

Достоверность результатов подтверждается корректностью исходной информации по пассажиропотокам, применением современного математического аппарата, а также сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Основные положения работы были доложены и одобрены на заседаниях кафедры «Железнодорожные станции и транспортные узлы» (ЖДСТУ) Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)) в 2020–2022 гг., на международной научно-практической конференции «Фёдор Петрович Кочнев

– выдающийся организатор транспортного образования и науки в России, а также на VII Международной научно-практической конференции «Научно-технические аспекты инновационного развития транспортного комплекса». Основные результаты работы опубликованы в семи печатных изданиях, в том числе три работы в журналах, рекомендованных в действующем перечне ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

Результаты диссертационного исследования были использованы АО «ФПК» для совершенствования организации движения пассажирских поездов в дальнем сообщении на полигоне Московского филиала в 2021 году и получили положительную оценку.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и двух приложений.

В первой главе рассмотрена организации пассажирских перевозок на сети железных дорог Российской Федерации. Проведен аналитический обзор научных исследований в сфере освоения пассажиропотока на железнодорожном транспорте и сделаны выводы об отсутствии в работах учета информации от пассажиров, характеризующейся недостаточной точностью и определяющей предпочтения пассажиров по выбору поездов при формировании маршрутов пассажирских поездов на сети железных дорог.

Во второй главе работы выполнена разработка методики расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования с учетом предпочтений пассажиров по выбору поездов. Предложены методики расчета оценки влияния предпочтений пассажиров на выбор поездов и определения эксплуатационных затрат, приходящихся на пассажирский поезд дальнего следования.

В третьей главе проведена работа по определению закономерности распределения пассажиропотока по типам мест в пассажирских поездах дальнего следования.

В четвертой главе проведена апробация предложенных моделей формирования маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования на полигоне железной дороги Белгород–Льгов–Москва.

1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ РАСЧЕТА МАРШРУТНОЙ СЕТИ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ ДАЛЬНЕГО СЛЕДОВАНИЯ

1.1 Основные положения организации пассажирских перевозок на сети железных дорог Российской Федерации

В Российской Федерации, как и в других развитых странах, транспорт является одной из крупнейших базовых отраслей хозяйства, важнейшей составной частью производственной и социальной инфраструктуры. Он связывает все регионы страны и является необходимым условием обеспечения территориальной целостности и единства экономического пространства страны [71].

Ведущее место в освоении объемов пассажирских перевозок в Российской Федерации принадлежит железным дорогам. Доля пассажиров, следующих на дальнее расстояние железнодорожным транспортом, составляет 41,1 % от общего объема перевозок.

Основным документом, регламентирующим перевозку пассажиров и багажа на железнодорожном транспорте, является «Правила перевозок пассажиров, багажа, грузобагажа железнодорожным транспортом» [68]. В нем повествуется об общих условиях договора перевозки пассажиров, багажа и грузобагажа железнодорожным транспортом общего пользования. Вагоны, предназначенные для перевозки пассажиров, багажа и грузобагажа и не принадлежащие перевозчику, могут включаться в составы поездов, сформированных перевозчиком, на основании договора, заключенного между владельцем вагонов и перевозчиком [79]. Условия перевозки пассажиров, багажа и грузобагажа и сервис пользователей услугами железнодорожного транспорта могут быть улучшены по сравнению с установленными настоящими Правилами. Перевозки пассажиров, багажа, грузобагажа осуществляются по железнодорожным путям общего пользования и между

железнодорожными станциями и пассажирскими остановочными пунктами, открытыми для выполнения соответствующих операций. Перевозки пассажиров, багажа, грузобагажа, следующих в международном сообщении, осуществляются по правилам, устанавливаемым соответствующими международными договорами.

Схемы составов поездов устанавливаются в зависимости от: характера, мощности и дальности следования пассажиропотоков; категорий поездов; пунктов, между которыми курсируют пассажирские поезда [75]. Пассажирам предоставляется возможность осуществления проезда в вагонах всех типов и классов, включенных в составы поездов, следующих по маршруту.

АО «Федеральная пассажирская компания» (ФПК) стремится к наращиванию объемов пассажирских перевозок. Прделана большая работа по запуску сезонных пассажирских поездов, в том числе туристических, которые помогут пассажирам отправиться в интересующие их регионы страны. В 2019 году на 18 % увеличилось перевозка пассажиров поездами с дневным режимом пропуска, всего перевезено порядка 17,7 млн. человек. Динамика изменения перевозок пассажиров дневными поездами представлена на рисунке 1.1.

По сравнению с 2018 годом, в 2019 году на 30,7 % увеличилась перевозка пассажиров двухэтажными поездами, всего перевезено около 6 миллионов человек (5,9% от общего объема перевозок АО «ФПК») [21]. Динамика изменения перевозок пассажиров двухэтажными поездами представлена на рисунке 1.2.

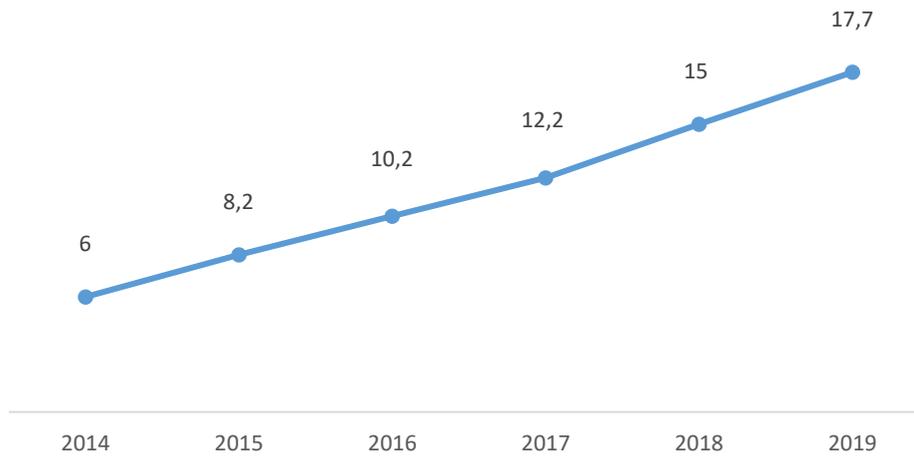


Рисунок 1.1 – Объемы перевозок пассажиров дневными поездами, млн. человек

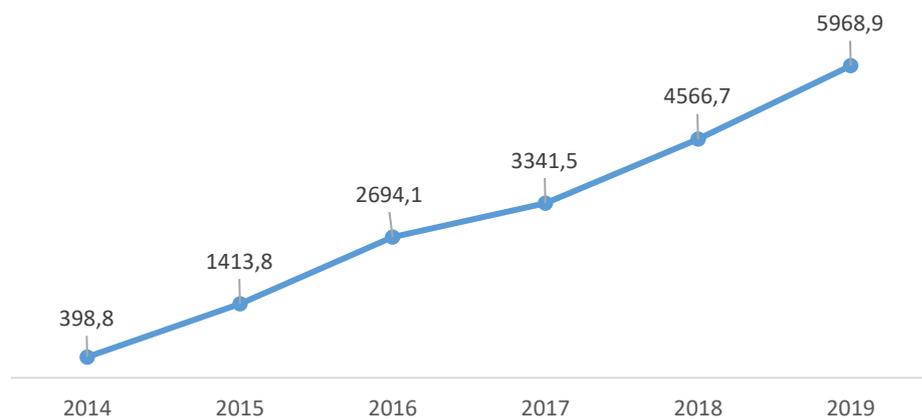


Рисунок 1.2 – Объемы перевозок пассажиров двухэтажными поездами, тыс. человек

В графике движения 2018/2019 года курсировало 16 пар двухэтажных поездов на 12 маршрутах. В соответствии с [42] в 2019 году были реализованы проекты движения двухэтажных пассажирских вагонов на сети железных дорог ОАО «РЖД», представленные на рисунке 1.3.

в фирменном поезде № 17/18 «Карелия» сообщением Петрозаводск – Москва	3 декабря 2019 г. в первый рейс отправился состав из двухэтажных вагонов из Петрозаводска
в фирменном поезде № 52/51 «Сура» сообщением Пенза – Москва	8 декабря 2019 года в первый рейс отправился состав из двухэтажных вагонов из Пензы
фирменных поездах № 737/738, 739/740, 741/742 «Иван Паристый» сообщением Москва – Брянск	25 декабря 2019 г. в первый рейс отправился состав из двухэтажных вагонов из Брянска

Рисунок 1.3 – Реализованные проекты движения двухэтажных пассажирских вагонов на сети железных дорог ОАО «РЖД» в 2019 году

В 2019 году увеличение потока пассажиров в скоростных поездах относительно 2018 года составило 8,8 %, всего было перевезено 10,2 млн. пассажиров (10,1 % от общего объема перевозок АО «ФПК») [69]. Динамика изменения перевозок пассажиров скоростными поездами представлена на рисунке 1.4.

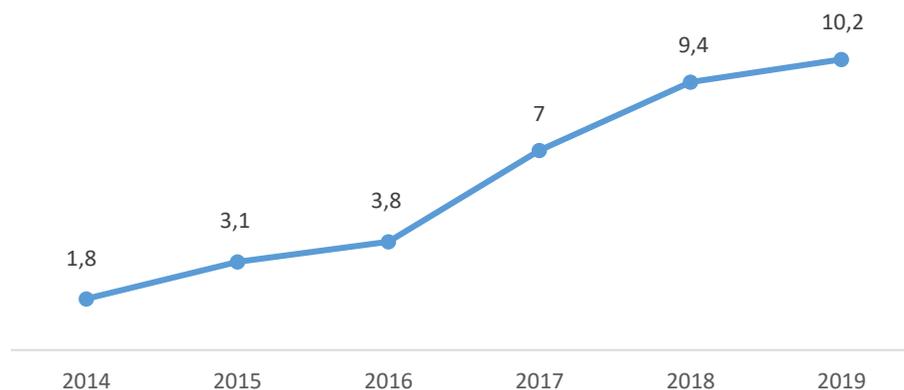


Рисунок 1.4 – Объемы перевозок пассажиров скоростными поездами, млн. человек

26 пар скоростных пассажирских поездов курсировали в 2019 году [21]. Основным скоростным подвижным составом в России являются поезда «Ласточка». Всего поездами «Ласточка» перевезено в 2019 году 7,8 миллионов пассажиров (7,7 % от общего объема перевозок АО «ФПК») [69].

Несмотря на высокий уровень продаж билетов, ФПК планирует возобновить движение дополнительных поездов, которые будут курсировать в период массовых отпусков. Кроме того, появятся новые маршруты, сформированные по просьбам пассажиров (Нижний Новгород – Кисловодск, Владикавказ – в Туапсе и другие).

Следует отметить, что проделана большая работа по ускорению следования пассажирских поездов. Так, в графике движения поездов на 2019/2020 года удалось сократить время следования поездов на 147 часов, в том числе 85 поездов сократили время следования от 30 минут и выше (общее время: 115 часов).

В целях привлечения пассажиропотока на железнодорожный транспорт с других видов транспорта предусмотрено назначение пар новых пассажирских поездов дальнего следования.

В АО «ФПК» предусмотрено формирование более 90 комбинаций категорий поездов с различными типами вагонов в их составах и сервисным набором услуг для пассажиров.

Согласно [88] заложен комплекс мер, направленных на упрощение восприятия пассажирами действующих предложений ФПК. Новый классификатор будет содержать 4 класса обслуживания (рисунок 1.6) в 4 типах поездов (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Типы поездов



Рисунок 1.6 – Классы обслуживания поездов

На федеральном уровне основные усилия АО «ФПК» были направлены на работу по совершенствованию нормативно-правового поля и системы тарифообразования в дальних пассажирских перевозках. В современных условиях порядок регулирования тарифов на перевозки пассажиров в

плацкартных и общих вагонах и субсидирования указанных перевозок, действующий с 2007 года, потерял свою актуальность и требует обновления [21].

Приказом ФАС России от 20 сентября 2019 г. № 1232/19 [69] тарифы в регулируемом сегменте на 2020 год были проиндексированы на 3,5 %.

Следует отметить, что АО «ФПК» благодаря реализованным масштабным маркетинговым акциям, введению скидок как для пассажиров, так и для отдельных групп населения (дети, многодетные семьи и др.) в 2019 году удалось удержать рост стоимости проезда в регулируемом сегменте на уровне 2,9 % при уровне индексации, установленном ФАС России, в размере 3,9 % [21].

С целью повышения комфортабельности пассажиров ведется работа по сбору предложений об изменении расписания движения пассажирских поездов в части установления более удобного для пассажиров времени отправления со станций и времени прибытия на станции. Опросы пассажиров позволяют определить уровень удовлетворенности качеством предоставляемых услуг и разработать мероприятия, направленные на повышение комфортабельности пассажиров и привлечение дополнительного пассажиропотока с других видов транспорта. В 2019 году оценка удовлетворенности пассажиров составила 4,33 балла из 5 (на 0,11 балла больше сравнению с 2018 годом). С целью увеличения уровня удовлетворенности пассажиров предусмотрено обновление подвижного состава и повышение сервиса в перевозках пассажиров.

Все вышеперечисленные мероприятия, без сомнения, влияют на формирование маршрутной сети пассажирских поездов и требуют дальнейшего совершенствования.

1.2 Анализ структуры пассажиропотоков и поездопотоков на сети железных дорог Российской Федерации

Перевозки пассажиров на железнодорожном транспорте имеют высокую социальную значимость и являются инструментом социально-экономической политики государства в области повышения мобильности населения, однако, в настоящее время рентабельность железнодорожных пассажирских перевозок находится на низкой ступени по причине отсутствия долгосрочных системных решений государства по эффективному субсидированию пассажирских перевозок, а также по причине отсутствия существенного предложения в высокодоходных группах по сравнению воздушным транспортом. Вследствие этого, наблюдается постепенное уменьшение доли железнодорожного транспорта в общей мобильности [80].

Главным конкурентом в дальнейшем следовании для железнодорожных перевозок являются авиационные перевозки. Наименьшее время следования пассажиров, обновление парка воздушных судов, агрессивная ценовая политика авиакомпаний позволили авиационному транспорту занять лидирующее положение среди всех видов транспорта при перевозке пассажиров на дальние расстояния. Государственная политика по обеспечению транспортной доступности населения на воздушном транспорте в период с 2007 по 2013 годы санкционировала увеличение пассажирооборота на воздушном транспорте на 21,2 % [21] в общем объеме пассажирских перевозок.

Менее существенное влияние для железнодорожных пассажирских перевозок в дальнейшем следовании оказывает автомобильный транспорт, а именно междугородние автобусные перевозки. Пассажиры выбирают такой вид транспорта из-за относительно невысокой стоимости билетов, а также из-за высокого уровня комфорта в пути следования.

Распределение пассажирооборота в дальнем следовании во внутригосударственном сообщении по видам транспорта в 2017, 2018 и 2019 годах представлено на рисунке 1.7.



Рисунок 1.7 – Распределение пассажирооборота в дальнем следовании во внутригосударственном сообщении по видам транспорта в 2017, 2018 и 2019 годах, %

Из рисунка 1.7 следует, что снижение доли железнодорожного транспорта в общем объеме перевозок пассажиров в дальнем следовании во внутригосударственном сообщении наблюдается на протяжении трех лет. Данная тенденция вызвана поддержкой государством авиационных перевозок, а именно, финансированием развития авиационной инфраструктуры и парка воздушных судов для авиаперевозок и прямым субсидированием ряда маршрутов [21].

Показатели освоения пассажиропотока перевозчиками на железнодорожном транспорте в структуре пассажирооборота в дальнем сообщении во внутригосударственном сообщении по видам транспорта представлены на рисунке 1.8.



Рисунок 1.8 – Показатели освоения пассажиропотока перевозчиками на железнодорожном транспорте в структуре пассажирооборота в дальнем следовании во внутригосударственном сообщении по видам транспорта

Из рисунка 1.8 следует, что лидирующее место среди российских железнодорожных перевозчиков в сегменте дальнего следования во внутригосударственном сообщении занимает АО «ФПК», несмотря на рост внутригрупповой конкуренции на рынке железнодорожных пассажирских перевозок дальнего следования.

Ввиду разнообразия выбора средства передвижения, пассажиры, с учетом жизненных обстоятельств и целей поездки, оперируют качественными особенностями средств передвижения. Предпочтения пассажиров меняются с течением времени и связаны с изменением маршрутной сети перевозок [89], тарифной политикой компаний и перечня предоставляемых на транспорте услуг. Предпочтения пассажиров по выбору вида транспорта в зависимости от дальности поездки, представлены на рисунке 1.9.

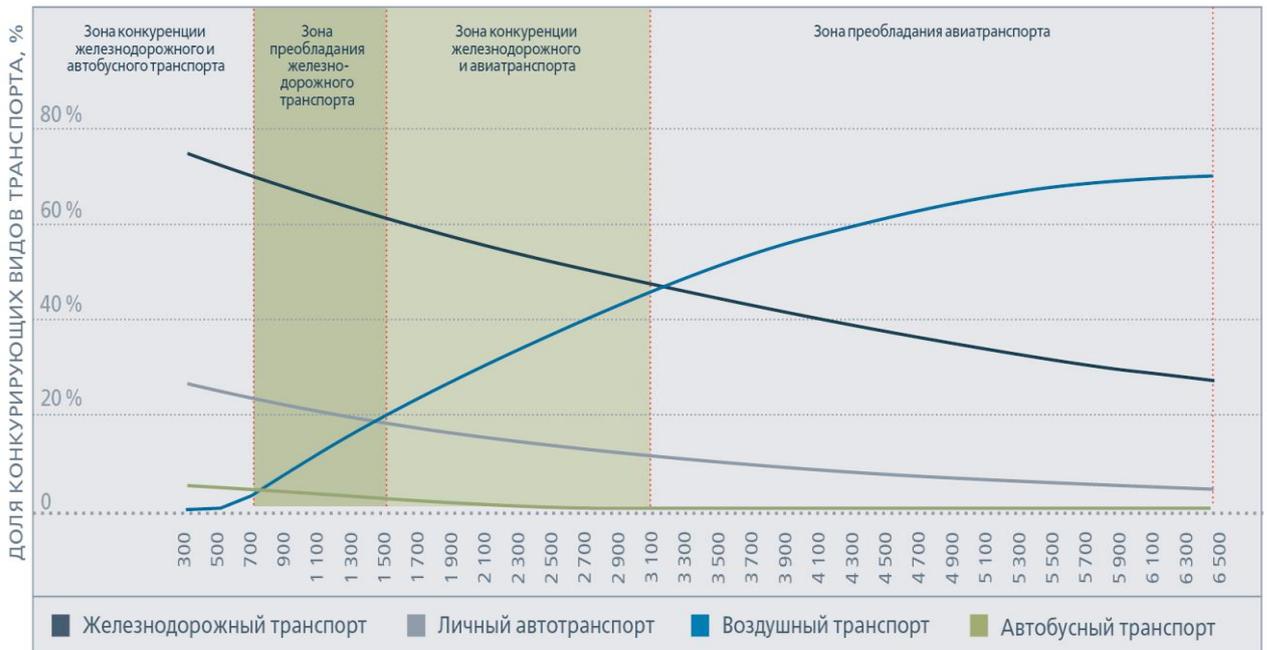


Рисунок 1.9 – Предпочтения пассажиров по выбору вида транспорта в зависимости от дальности поездки, на основе данных отчетов АО «Федеральная пассажирская компания»

Из рисунка 1.9 следует, что зоной конкуренции железнодорожного транспорта и автомобильного (автобусы) транспорта считается расстояние до 700 километров (км); зоной преобладания железнодорожного транспорта считается расстояние от 700 км до 1500 км; зоной конкуренции железнодорожного транспорта и авиационного считается расстояние от 1500 км до 3100 км; зоной преобладания авиационного транспорта считается расстояние свыше 3100 км.

Анализ статистики перевозок в зависимости от дальности поездок (таблицы 1.1–1.3) на железнодорожном транспорте за период с 2009 года по 2019 год свидетельствует, что значительное снижение перевозок отмечено на дальности от 900 км до 1300 км за 5–7 лет. Вместе с этим, на расстояниях до 600 км наблюдается увеличение объема перевозок пассажиров.

Изменение пассажиропотока в зависимости от дальности поездок до 3000 км в 2009, 2014 и 2019 годах на железнодорожном транспорте представлено на рисунке 1.10.

Таблица 1.1 – Динамика изменения пассажиропотока по годам в зависимости от дальности следования (100–2000 км)

Дальность, км	Пассажиропоток по годам, тыс. пасс./год										
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
100	980,7	962,9	1159,1	1035,0	693,6	555,3	680,2	495,7	535,6	580,8	597,6
200	4362,2	4117,6	4499,4	4168,5	4656,5	4399,7	4943,5	5086,4	5959,5	6505,2	6204,1
300	4366,3	4119,3	4232,6	4087,6	4826,7	4998,5	5652,0	5318,5	6163,3	6410,6	7286,8
400	5898,4	5642,5	6177,1	5936,2	6201,3	6418,9	6725,5	6201,3	7443,5	8064,6	8784,9
500	7002,1	6837,9	9094,5	7242,2	11980,2	8587,5	10674,3	9068,9	13256,7	10938,7	11980,1
600	4971,3	5017,4	9167,5	5071,4	12715,3	8758,5	12225,6	8152,2	11619,0	9224,5	9507,7
700	10706,7	10993,7	14884,8	12014,3	17324,3	16743,2	21256,6	17754,3	22165,9	19415,3	21526,4
800	4598,7	4703,3	8982,9	4873,6	11725,2	5253,8	41117,8	25285,5	51209,7	31365,9	31990,7
900	3433,5	3474,9	24590,0	3712,9	42501,6	23494,2	20558,0	15912,9	25463,5	16116,1	16331,9
1000	2245,9	2325,5	15289,4	2493,9	101925,9	15330,4	86737,1	6212,3	86134,2	9637,4	8848,0
1100	2713,5	2757,3	6561,7	3058,5	13813,2	10291,8	16465,6	10110,4	17947,5	9045,3	9846,9
1200	2021,2	2022,0	9835,3	2034,2	13879,2	8253,2	10627,1	3832,2	10486,9	5465,8	5345,9
1300	1914,2	1853,1	5572,3	1874,5	8273,8	4634,8	7322,8	6375,6	7477,0	5606,8	5742,1
1400	949,7	981,9	2038,3	1079,1	6729,6	4731,0	9273,9	3896,6	11007,8	6199,1	6638,2
1500	2160,8	2126,8	6759,1	2263,3	9406,8	3911,7	6076,7	6482,7	3770,5	3234,9	2993,2
1600	1585,9	1547,7	2774,6	1746,7	2920,8	2160,5	2414,2	1779,5	3516,2	1923,3	1991,4
1700	1045,6	1455,8	1556,8	949,5	2777,6	1858,7	1760,6	2589,4	2467,9	1849,2	1629,5
1800	2376,2	2110,1	3294,3	2545,3	4197,1	3231,3	4019,0	2002,7	2400,1	2304,5	2162,6
1900	1495,1	991,6	1954,5	1160,3	1677,4	1227,9	1097,0	1598,7	1136,4	1424,5	1304,0
2000	1062,5	1163,2	1522,4	1271,2	1309,5	2006,2	2706,5	1907,7	2965,7	2104,2	2049,9

Таблица 1.2 – Динамика изменения пассажиропотока по годам в зависимости от дальности следования (2100–4000 км)

Дальность, км	Пассажиропоток по годам, тыс. пасс./год										
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
2100	1550,1	1303,3	1882,3	1130,5	2515,4	1081,6	978,1	1046,7	696,0	736,1	880,6
2200	505,3	460,7	552,2	683,4	508,5	639,7	553,6	618,6	566,7	592,1	589,0
2300	520,6	509,8	519,0	542,8	542,3	538,5	506,1	572,5	545,7	554,4	561,3
2400	701,0	654,1	658,1	729,1	672,7	622,3	605,1	844,0	747,1	624,0	589,0
2500	807,8	647,1	641,5	618,3	462,1	519,2	527,2	469,3	470,5	684,1	700,9
2600	235,6	306,2	222,6	240,7	209,0	214,0	211,6	315,8	279,5	272,4	299,1
2700	433,0	465,0	509,2	502,2	448,5	364,1	385,1	367,7	344,1	393,7	320,4
2800	218,7	218,5	207,3	273,5	235,8	238,2	202,7	198,2	179,6	174,0	196,1
2900	352,4	339,7	359,9	353,5	299,9	305,5	297,2	346,3	316,7	325,8	318,1
3000	193,1	261,6	217,4	222,9	165,6	190,1	175,3	204,2	168,8	185,9	174,2
3100	263,5	210,6	237,6	250,9	182,7	184,5	172,7	174,4	171,6	161,2	162,4
3200	184,0	241,9	216,6	229,6	161,8	183,3	186,5	215,6	175,2	178,8	190,5
3300	256,7	183,9	170,7	222,6	196,5	173,4	171,8	172,5	164,8	129,4	97,8
3400	143,7	141,4	140,8	83,1	68,7	64,3	65,7	69,7	66,1	104,3	143,6
3500	218,4	198,9	196,9	202,0	145,0	122,8	104,8	108,2	94,2	93,8	89,7
3600	96,0	83,5	89,1	81,3	112,3	93,9	75,6	92,4	87,9	84,9	77,0
3700	179,9	149,2	136,5	151,8	140,9	122,0	113,6	133,3	113,4	116,2	108,5
3800	47,7	66,7	66,6	68,2	56,3	58,4	48,5	47,7	40,4	59,3	71,6
3900	78,0	53,0	64,5	58,0	43,3	47,8	36,5	44,3	40,1	35,2	31,1
4000	58,2	55,8	49,2	49,2	45,6	49,2	38,1	26,2	31,7	43,8	48,2

Таблица 1.3 – Динамика изменения пассажиропотока по годам в зависимости от дальности следования (4100–6000 км)

Дальность, км	Пассажиропоток по годам, тыс. пасс./год										
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
4100	96,2	114,0	106,5	103,5	103,1	88,9	72,9	101,2	85,4	75,2	78,9
4200	62,4	56,1	50,8	42,0	26,8	21,0	39,9	54,1	37,9	40,4	33,0
4300	47,7	55,6	71,9	52,1	54,0	56,6	50,5	55,0	45,1	22,5	30,4
4400	95,9	82,1	90,3	91,2	60,5	47,6	46,2	52,8	42,0	68,0	71,1
4500	36,9	25,6	26,9	27,3	25,8	18,6	17,8	20,5	22,4	21,4	21,6
4600	54,0	34,5	29,8	25,5	27,3	26,6	23,7	32,0	25,4	23,8	24,4
4700	26,1	62,0	60,1	60,2	42,1	42,0	44,5	40,0	45,7	41,9	36,7
4800	48,1	51,8	48,1	49,5	38,3	46,4	31,3	43,4	30,5	41,2	43,7
4900	22,4	29,4	25,1	13,2	22,2	11,3	8,2	15,2	12,4	13,7	13,3
5000	36,5	25,5	34,4	55,0	32,8	32,2	30,8	40,3	31,5	36,1	43,0
5100	29,5	26,2	21,9	19,4	15,3	11,5	11,8	16,1	19,4	17,7	20,8
5200	124,6	112,3	108,7	89,1	79,2	59,6	59,5	68,8	67,2	67,3	69,4
5300	15,6	14,8	13,3	13,5	12,0	9,7	6,7	6,7	6,7	6,6	7,0
5400	2,7	2,3	2,1	4,1	1,7	2,9	2,9	2,9	3,3	3,6	2,5
5500	5,3	13,3	17,1	14,0	8,9	6,7	3,2	4,1	2,8	2,7	3,2
5600	39,9	32,5	31,0	26,3	20,2	17,3	16,8	25,2	13,0	20,2	18,0
5700	8,3	9,4	8,3	10,4	9,1	8,1	5,9	6,9	6,0	6,0	6,1
5800	6,6	7,4	8,8	4,3	3,6	3,9	3,7	4,1	4,0	3,3	3,5
5900	23,6	22,1	22,0	18,7	16,1	13,4	15,2	13,7	13,4	13,1	12,1
6000	45,6	47,3	53,4	45,7	28,5	18,8	19,0	19,2	26,4	21,3	18,6

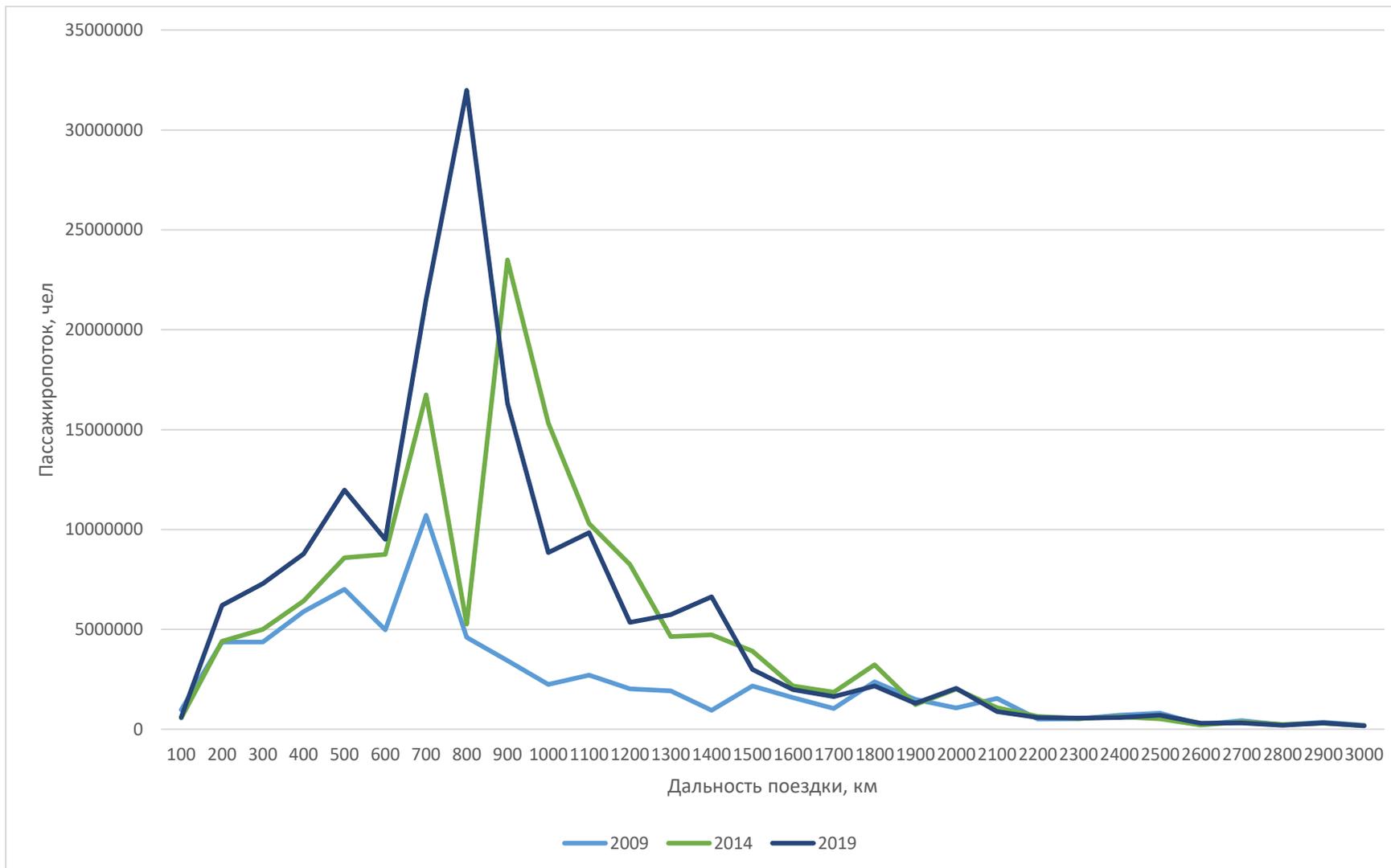


Рисунок 1.10 – Изменение пассажиропотока в зависимости от дальности поездки в 2009, 2014 и 2019 годах на железнодорожном транспорте

Основными показателями железнодорожных пассажирских перевозок являются пассажирооборот, количество перевезенных пассажиров и средний состав поезда. Данные по пассажирообороту и количеству перевезенных пассажиров и среднему составу поезда [69] представлены на рисунках 1.11 – 1.13.

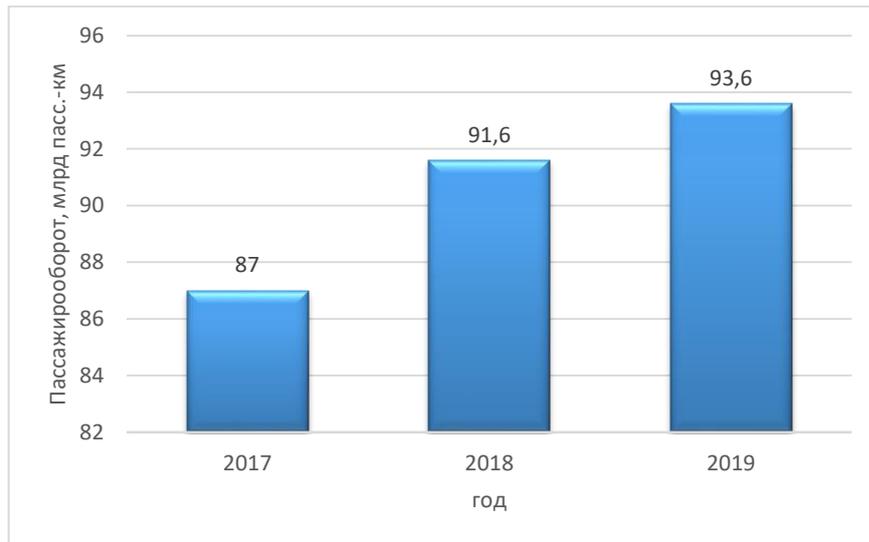


Рисунок 1.11 – Гистограмма изменения пассажирооборота железнодорожного транспорта дальнего следования с 2017 по 2019 гг.

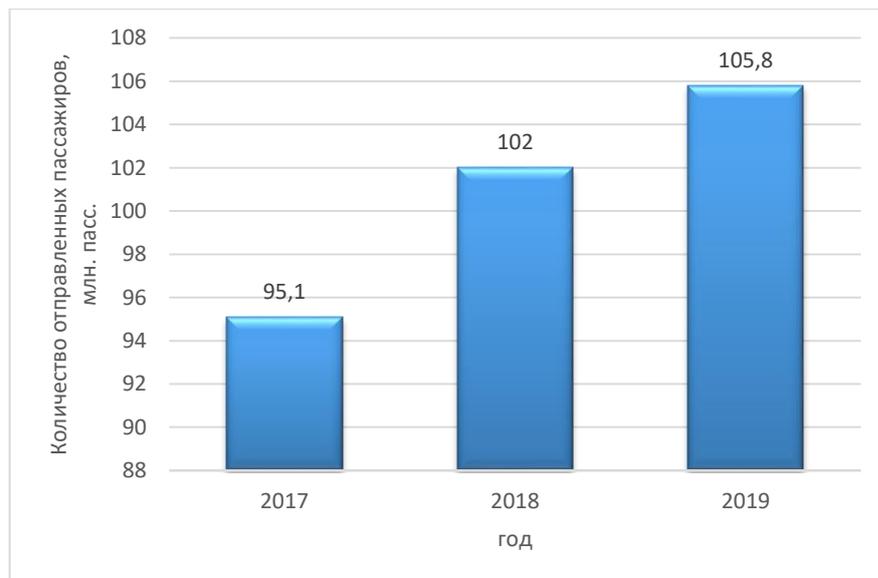


Рисунок 1.12 – Гистограмма изменения количества перевезенных пассажиров железнодорожным транспортом дальнего сообщения с 2017 по 2019 гг.

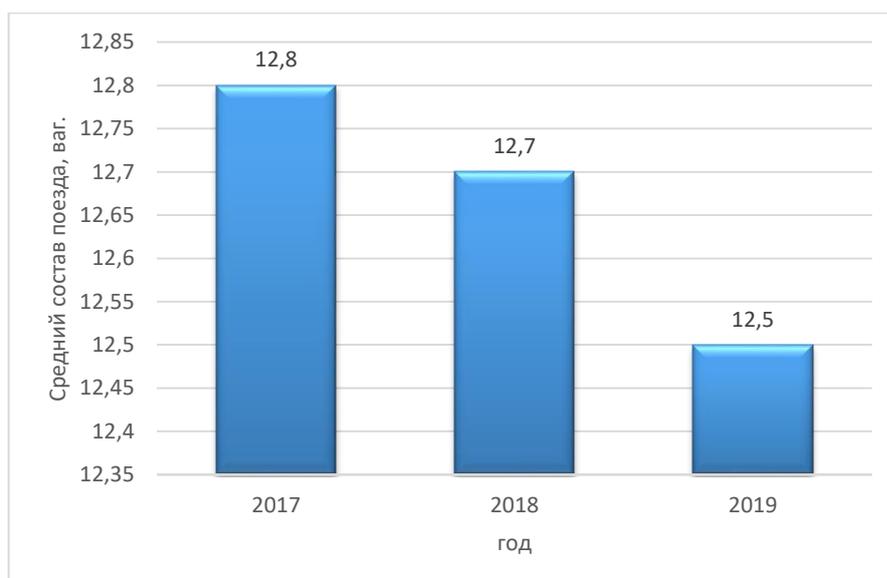


Рисунок 1.13 – Гистограмма изменения среднего состава поезда с 2017 по 2019 гг.

Динамика пассажирооборота железнодорожного транспорта дальнего следования за 2019 год составила 102,2% к уровню 2018 года. Количество перевезенных пассажиров АО «ФПК» во внутригосударственном сообщении за 2019 год составило 103,9 % к уровню 2018 года. Средний состав поезда в 2019 году составил 98,4% к уровню 2018 года [21].

Для перелома сложившейся ситуации и сохранения конкурентоспособности в сфере железнодорожных пассажирских перевозок предпринимаются меры по повышению клиентского сервиса и реализуются мероприятия по обновлению вагонного парка.

Распределение пассажирооборота по типам вагонов представлено на рисунке 1.14.

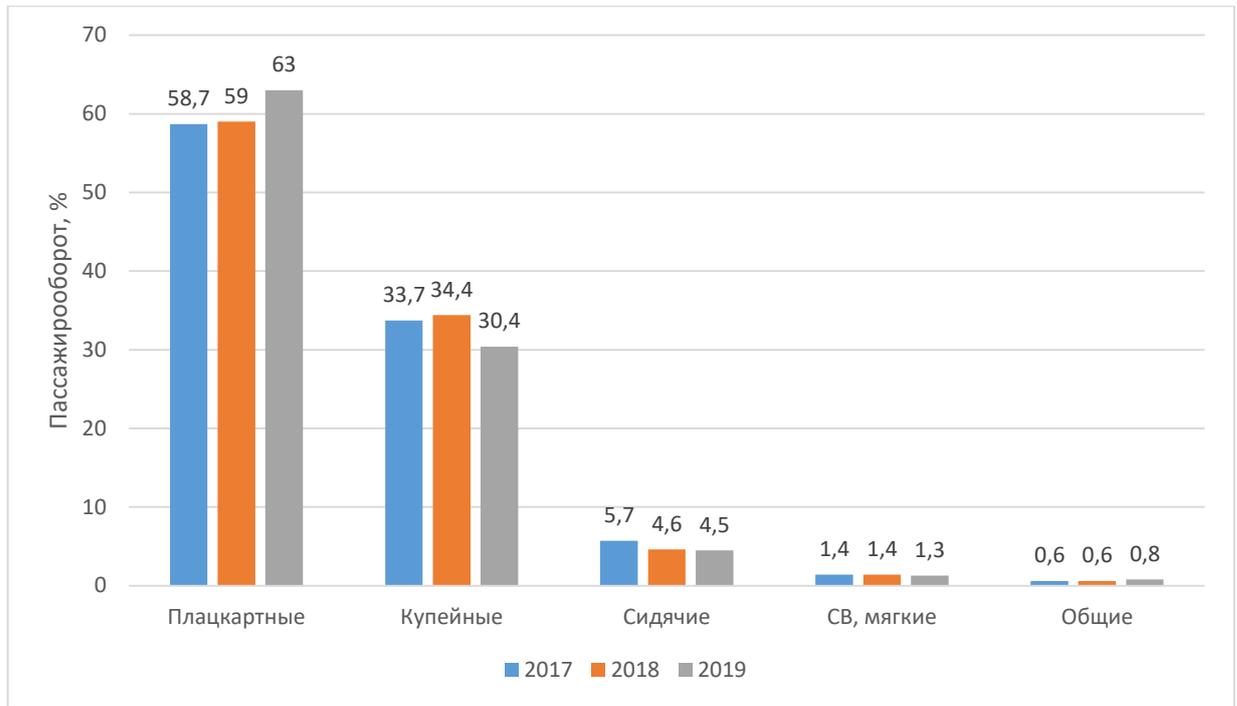


Рисунок 1.14 – Распределение пассажирооборота по типам вагонов, %

Из рисунка 1.14 следует, что спрос на плацкартные вагоны вырос. Произошло это за счет исключения из инвентаря большого количества купейных вагонов (рисунок 1.15). Уровень спроса на сидячие, спальные (СВ), мягкие и общие вагоны остался практически без изменений.

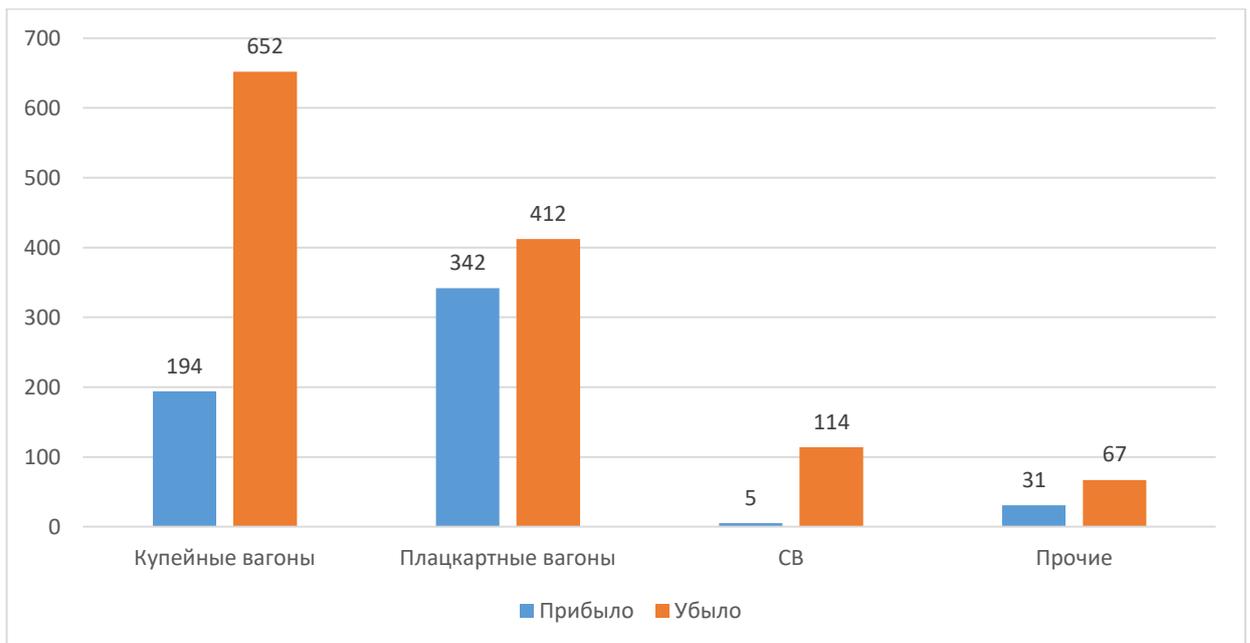


Рисунок 1.15 – Динамика структуры вагонного парка по типам, шт.

Задачи повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта представлены на рисунке 1.16.



Рисунок 1.16 – Задачи повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта

Обновление вагонного парка – одна из ключевых задач развития пассажирских перевозок. Планируется на смену плацкартным вагонам принять современные модульные вагоны с повышенным уровнем комфорта и персонализированными пространствами для пассажиров.

В 2019 году ФПК осуществляло перевозку пассажиров по международным маршрутам в страны Европы и Азии: Китай, Польшу, Германию, Францию, Монако, Австрию, Чехию, Италию, Финляндию, Монголию, КНДР. Кроме того, поезда курсировали в страны СНГ и Балтии: Украину, Казахстан, Молдову, Абхазию, Беларусь, Узбекистан, Киргизию, Таджикистан, Азербайджан, Латвию, Литву, Эстонию. Структура перевозок в международном сообщении в 2019 году представлена на рисунке 1.17.



Рисунок 1.17 – Структура перевозок в международном сообщении в 2019 году, %

Несмотря на большое разнообразие международных маршрутов, зафиксировано уменьшение количества перевезенных пассажиров в международном сообщении (Рисунок 1.18).

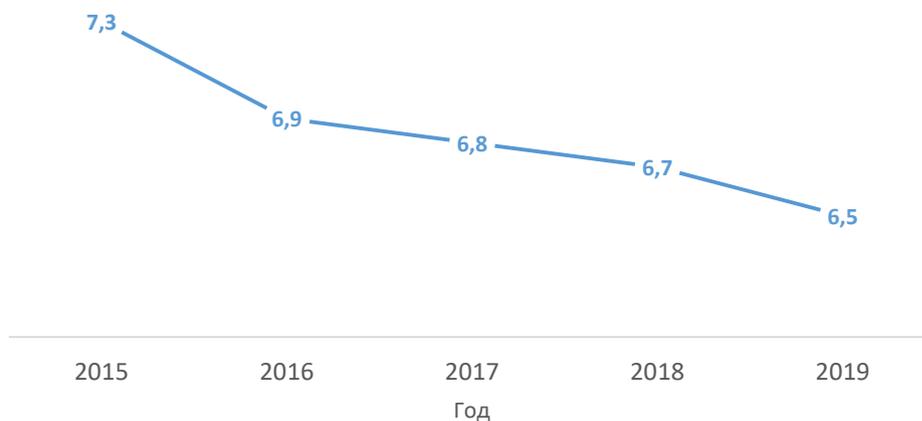


Рисунок 1.18 – Динамика перевезенных пассажиров в международном сообщении в 2019 году, млн. человек

Для перелома сложившейся ситуации проводятся мероприятия по повышению привлекательности международных пассажирских перевозок в рамках двухсторонних и многосторонних соглашений.

1.3 Аналитический обзор научных исследований в сфере освоения пассажиропотока на железнодорожном транспорте

Стратегия развития железнодорожных пассажирских перевозок направлена на полное удовлетворение спроса населения в перевозках и привлечение дополнительного пассажиропотока на железнодорожный транспорт. Основой для реализации этих задач является сведения об особенностях формирования поездов, о величине и направлениях пассажиропотоков, их изменениях в пространстве и во времени.

Вопросами совершенствования железнодорожных пассажирских перевозок в дальнем сообщении занимались и занимаются ученые: М.Н. Беленький, С.С. Жабров, М.И., Ф.П. Кочнев, Ю.О. Пазойский, Е.А. Макарова, О.Н. Панова, П.П. Кобзев, Е.Б. Куликова, Т.Н. Каликина, В.А. Федоров, В.Г. Шубко, М.Ю. Савельев, В.Н. Шмаль и другие.

Планирование пассажирских перевозок в дальнем сообщении зависит в основном от развития экономики регионов страны, уровня развития других видов транспорта, плотности и подвижности населения.

В работах Ф.П. Кочнева [44, 45] подробно обоснованы основные принципы организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте и представлена методика выбора рациональной скорости движения пассажирских поездов и их веса. Оптимальным будет считаться вариант плана формирования поездов с минимумом приведенных затрат на перевозку в соответствии с расчетами, которые выполняются на электронно-вычислительной машине, позволяющей обрабатывать значительное количество входной информации о пассажирских потоках.

В работе [58] рассмотрена система организации дальних пассажирских перевозок, основанная на разработке формирования маршрутной сети пассажирских поездов, которая учитывает выбор их схем составов и новые тенденции в сфере дальних пассажирских перевозок. В работе представлена методика расчета числа назначений и маршрутов пассажирских поездов дальнего следования на направлении с учетом обеспечения максимального уровня беспересадочных сообщений при минимальных эксплуатационных затратах.

В статье П.П. Кобзева [26] приведена методика автоматизации расчета пассажиропотоков дальнего следования и определены требования к периодичности выполнения расчетов пассажиропотоков. Кроме этого, описаны результаты исследований, в ходе которых было установлено, что распределение корреспонденций пассажиропотока зависит от периода движения пассажирских поездов.

Основы распределения корреспонденций пассажиропотоков на полигоне железной дороги в зависимости от времени следования пассажирских поездов были приняты при определении размеров пассажиропотоков также в работе М.И. Загордан [29].

Изменение величины пассажиропотоков во времени исследованы в работе В.С. Колпакова [41]. Было установлено, что объем пассажирских перевозок меняется в течение времени и, если принять среднемесячный объем перевозок за 100 %, то в одном месяце он может быть на 40% больше, в другом на 20% меньше.

Особенностью пассажирских перевозок в отдельных случаях является низкий уровень их организации. Это зачастую связано с проблемами прогнозирования пассажиропотоков. В результате этого отсутствуют веские обоснования развития скоростного и высокоскоростного пассажирского транспорта, сооружения новых пассажирские станции и реконструкции пассажирских устройств. Методику прогнозирования пассажирских потоков в своей работе [67] предложил Н.В. Правдин. В книге не только подробно

описаны методы долгосрочного и краткосрочного прогнозирования пассажиропотоков, но и представлено исследование процессов их зарождения, распределения и погашения.

В работе О.Н. Пановой [57] представлена комплексная математическая модель расчета числа назначений и маршрутов пассажирских поездов дальнего следования, которая включает в себя решение задач прогнозирования и моделирования густоты пассажиропотоков, определения схем составов поездов и расчета количества пассажирских поездов с учетом спроса пассажиров.

В научной работе В.С. Колпакова [28] представлена методика определения схемы состава пассажирского поезда включая определение оптимальной скорости движения поезда и его веса. Параметром принятия схемы состава поезда является минимум приведенных затрат на перевозку. Основным недостатком методики является отсутствие спроса пассажиров на вагоны различных типов.

Многокритериальную задачу выбора схемы формирования пассажирских поездов в своей работе [15] решила Г.А. Буракова. В качестве критериев были обозначены: время отправления поездов со станций, время проследования поездами зонных пунктов, продолжительность простоя составов в пунктах назначения и время отправления поездов со станции оборота.

Выбор числа назначений и маршрутов пассажирских поездов дальнего следования, используя линейное программирование, рассмотрен в работе [90] В.Г. Шубко. В качестве исходных данных использовались мощности струй пассажиропотоков, весовые нормы и скорости движения поездов, схемы составов поездов. Кроме этого, также учитывалось изменение пассажиропотока при наличии параллельных ходов основному ходу курсирования поездов. Оптимальным будет считаться вариант плана формирования пассажирских поездов с минимумом эксплуатационных затрат на перевозку пассажиров. Следует отметить, что расчет числа назначений и

маршрутов пассажирских поездов дальнего следования выполняется поэтапно (первый этап включает в себя решение задачи освоения пассажиропотоков при обеспечении беспересадочного следования основного пассажиропотока, а на втором этапе расчета учитываются требования к качеству перевозки пассажиров и ликвидируются ошибки первого этапа).

Согласно научной работе [22] Ф.С. Гоманкова, расчет числа назначений и маршрутов пассажирских поездов дальнего следования позволяет, главным образом, учитывать интересы пассажиров и возможности железнодорожного транспорта. В методике расчета плана формирования поездов для струй пассажиропотоков величиной менее одного пассажира в сутки вводятся в обращение вагоны беспересадочных сообщений, которые прикрепляются к пассажирским поездам. В работе приведена модель обращения таких беспересадочных вагонов на расчетном участке железной дороги. Следует отметить, что в результате определения числа назначений и маршрутов пассажирских поездов дальнего следования с помощью линейного программирования становится доступным определение величины пассажиропотока, следующего через узел с пересадкой.

В.И. Лукашев в своей статье [51] предлагает поэтапную оптимизацию назначений пассажирских поездов на сети железных дорог. На первом этапе принимаются во внимание только потоки пассажиров без учета транзита и разрабатывается оптимальная их структура. На втором этапе рассматривается только та часть транзитного потока пассажиров, которая не обеспечивается транзитными поездами на исследуемом полигоне железной дороги и осуществляется необходимая корректировка полученной на первом этапе схемы обращения.

М.Ю. Савельев в своей работе [78] предложил модель расчета плана формирования пассажирских поездов при обеспечении заданного уровня беспересадочного сообщения, которая использует данные о корреспонденциях пассажирских потоков. Модель позволила достичь прозрачности освоения пассажиропотока на всех стадиях решения задачи и дать возможность более

точно моделировать размеры движения пассажирских поездов и определять корреспонденции пассажиропотоков по поездам.

В ранее рассмотренных работах оптимальным вариантом плана формирования пассажирских поездов является вариант с минимумом приведенных затрат, включающих расходы на транспорт и затраты, оценивающие время нахождения пассажиров в поездах. Однако в этих расчетах не учитывались ограничения по вагонному парку. Эти ограничения рассмотрел Ю.О. Пазойский в работе [60]. Такой подход к решению задачи дал возможность количественно оценить эффективность вводимых размеров движения и использование подвижного состава.

Совершенствование структуры оперативного управления перевозками пассажиров рассмотрел в работе [55] О.А. Никитин. Предложенный автором подход позволяет решать задачи оперативного регулирования количества пассажирских поездов и схем их составов на каждые сутки на основе прогнозирования пассажиропотоков с использованием автоматизированной системы управления резервированием мест и билетно-кассовыми операциями (АСУ «Экспресс»).

В своей работе [62] Ю.О. Пазойский впервые предложил методику выбора оптимального варианта плана формирования пассажирских поездов дальнего следования, приносящая максимальную прибыль компании-перевозчику.

Подходы к моделированию пассажиропотоков рассмотрены в работе [6] Л.А. Баранова, В.Г. Сидоренко, Л.Н. Логиновой. Для исследования динамики интеллектуальной системы управления городскими рельсовыми транспортными системами в работе представлены математические модели пассажиропотоков транспортно-пересадочного узла. Отмечено, что для исследования алгоритмов управления движением рельсового транспорта целесообразно применить модели прогнозирования заполненности транспортных узлов, позволяющие планировать управление воздействия для снижения влияния возмущений при внедрении систем автоведения [4].

Оценка качества планирования и управления движения пассажирских поездов метрополитена с использованием ортогональных преобразований предложена Т.А. Искаковым совместно с другими авторами работе [34]. Предложенный способ представления информации может служить способом классического представления результатов планирования движения пассажирских поездов метрополитена и сильно сжатым и усредненным описанием при помощи эксплуатационных измерителей и интегральных показателей качества.

А.Ф. Бородин в работах [12–14] выявляет проблемы развития железных дорог и определяет подходы к развитию генеральной схемы сети железных дорог РФ с целью комплексного решения проблемы развития и использования железнодорожной инфраструктуры и перевозочных ресурсов в различных видах сообщения.

Для удовлетворения спроса населения на перевозки и повышения эффективности использования подвижного состава при стремительном развитии транспортных сетей в населенных пунктах рассмотрена проблема прогнозирования спроса населения на транспортные услуги в работе [17] С.П. Вакуленко, Е.Б. Куликовой и О.Н. Мадяр. Авторы предлагают математическую модель, позволяющую повысить доступность железнодорожного транспорта для населения и конкурентоспособность железнодорожного транспорта на рынке транспортных услуг.

О.Н. Мадяр в своей работе [54] определяет целесообразность назначения остановок пассажирских поездов в крупных транспортных узлах. Предложенная автором методика позволит сократить время поездки, что положительно скажется на переориентации пассажиропотоков с личного транспорта на железнодорожный.

В работах [52,53] М.Г. Лысиков рассматривает работу транспортно-пересадочных узлов. Отмечается, что разработка целевой системы показателей оценки качества обслуживания пассажиров в ТПУ должна основана на выполнении условия, при котором отношение времени

следования пассажира от входа в транспортно-пересадочный узел до его посадки в подвижной состав в условиях режима с препятствиями, к тому же времени в свободных условиях, не превышает заданного значения.

Выбор пассажирами вида транспорта в зависимости от дальности поездки с применением нечетких множеств рассмотрел в работе [70] А.А. Прытов. Результаты расчетов в исследовании дают понять, что при дальности поездки до 300 километров наибольшим спросом среди пассажиров пользуется автомобильный транспорт; при дальности поездки от 300 до 1000 километров - железнодорожный транспорт; при дальности поездки свыше 1000 километров – воздушный транспорт.

Пути совершенствования процессом управления городскими перевозками с применением теории нечетких множеств представлены в работе [46] Л.С. Кригер. Исследования, проведенные автором, позволят удовлетворить спрос населения на перевозки и развить методики составления расписания и движения и управления движением транспорта.

Следует также отметить исследования [2–5, 7–8, 10, 16, 18–20, 23–24, 28, 33, 35–40, 63–66, 72–74, 85–87], направленные на совершенствование железнодорожных перевозок.

Проведенный анализ существующих методик расчета числа назначений и маршрутов пассажирских поездов дальнего следования позволяет сделать вывод, что исследования по данной тематике проводились широко и удалось получить значительные результаты по совершенствованию железнодорожных пассажирских перевозок в дальнем сообщении. Однако недостатком этих исследований является невозможность учета информации от пассажиров, характеризующаяся недостаточной точностью и определяющей предпочтения пассажиров по выбору поездов при расчете маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования.

Выводы по главе 1

1. Существует проблема учета поступающей информации от пассажиров, характеризующаяся недостаточной точностью, для повышения эффективности пассажирских перевозок в дальнем сообщении. Клиентоориентированность перевозочных компаний вынуждает разрабатывать новые подходы на основе математических моделей расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования, создание которых на основе применения перспективных корреспонденций пассажиропотоков, включающих данные о предпочтениях пассажиров в условиях многофакторности при выборе поездов, позволит:

- устранить неясность освоения пассажиропотоков поездами;
- использовать освоения одной корреспонденции поездами различных маршрутов следования.

2. Современное состояние применения математических моделей расчета маршрутной сети пассажирских поездов позволяет сделать вывод, что при формировании маршрутов следования пассажирских поездов отсутствует системный инструмент принятия решений в условиях неопределенности и многофакторности пассажиров. Возникает необходимость перевода данных в точный количественный показатель для формирования маршрутов пассажирских поездов с учетом предпочтений пассажиров.

3. Введение условия обеспечения выполнения беспересадочных сообщений для основного потока пассажиров способствует повышению качества и комфортабельности пассажирских перевозок и, таким образом, повышается конкурентоспособность железнодорожного транспорта на рынке транспортных услуг.

4. В целях повышения качества и комфортабельности пассажирских перевозок возникает необходимость реализации различных мероприятий по формированию предложений пассажиров, связанных с изменением расписания движения пассажирских поездов в части установления более

удобного для пассажиров времени прибытия на станции назначения и времени отправления с начальных станций.

2 МЕТОДИКА РАСЧЕТА МАРШРУТНОЙ СЕТИ ПАССАЖИРСКИХ Поездов ДАЛЬНЕГО СЛЕДОВАНИЯ С УЧЕТОМ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ПАССАЖИРОВ ПО ВЫБОРУ Поездов

Одной из основных задач организации железнодорожных пассажирских перевозок является совершенствование формирования маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования.

Качественная организация пассажирских перевозок предполагает обеспечение беспересадочного сообщения для пассажиров мощных корреспонденций пассажиропотоков и установление потребного количества поездов на участке железной дороги не только с учетом освоения расчетного пассажиропотока, но и с учетом предпочтений пассажиров по выбору поездов. Основными факторами, влияющими на выбор поездов пассажирами, являются: время в пути следования, стоимость проезда, удобство расписания движения поездов для пассажира (время отправления пассажира с начальной станции и время прибытия пассажира на конечную станцию его поездки), цель поездки, комфортабельность поездки и другие. Каждый поезд, с точки зрения пассажиров, имеет свои преимущества и недостатки. В тоже время, один и тот же поезд может оказаться наиболее предпочтительным для пассажиров и наименее прибыльным для компании-перевозчика. Однако даже при организации движения поездов на направлениях с высоким спросом, доход компании-перевозчика может уменьшиться ввиду оттока части пассажиропотока на другие виды транспорта из-за отсутствия предпочтительных поездов для пассажиров.

Таким образом, только при учете этих факторов, можно получить наилучший вариант маршрутной сети пассажирских поездов с минимальными эксплуатационными расходами на организацию движения пассажирских поездов или максимальной прибылью для компании-перевозчика.

2.1 Методика расчета оценки влияния предпочтений пассажиров на выбор поездов

Начальный этап расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования заключается в обработке поступающих данных по пассажиропотокам. Установление потребного количества поездов на участке железной дороги должно определяться не только с учетом освоения расчетного пассажиропотока, но и с учетом предпочтений пассажиров по выбору поездов. Однако, в этом случае, требуется обработка множества данных, часть из которых может содержать размытость и неточность формулировок от пассажиров. В связи с этим в данном научном исследовании рассмотрено применение математического аппарата теории нечетких множеств и нечеткой логики [92]. Математическая теория нечетких множеств и нечёткая логика является обобщением классической теории множеств и формальной логики, понятия которых предложил Лотфи Заде в 1965 году [26].

С помощью теории нечетких множеств можно обработать различные входные данные [95] от пассажиров, которые содержат информацию по пассажирским поездам и смоделировать слабо формализуемые рассуждения, такие как: «много», «мало», «часто», «около ...» и др. В отдельных областях науки достоверность входных данных оценивается неким коэффициентом, ввод которого не дает получить точного результата исследования. Эффективная организация пассажирских перевозок может быть достигнута только при регистрации всех переменных объекта, участвующего в исследовании. Именно поэтому при расчете маршрутной сети пассажирских поездов необходимо использовать теорию нечетких множеств.

2.1.1 Оценка влияния предпочтений пассажиров на выбор поездов пассажирами

Оценку пассажирских поездов в соответствии с предпочтениями пассажиров можно охарактеризовать двумя значениями: «истина» или «ложь», которые для удобства выбираются из отрезка $[0, 1]$. При этом значению «истина» соответствует число 1, а значению «ложь» – 0 (рисунок 2.1).

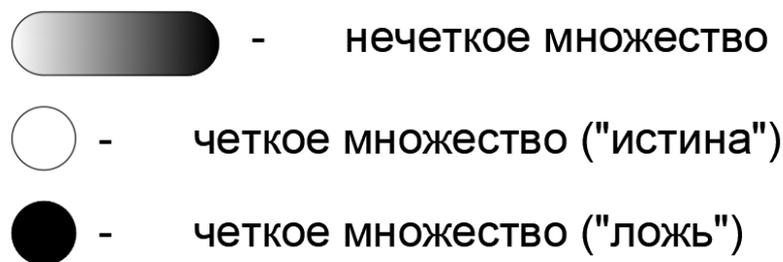


Рисунок 2.1 – Множества

В том случае, если универсальное множество $[1]$ состоит из конечного количества элементов $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, нечеткое множество представляется в виде:

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \text{ или } \tilde{A} = \left\{ \frac{\mu_A(x_1)}{x_1}, \frac{\mu_A(x_2)}{x_2}, \dots, \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} \right\}. \quad (2.1)$$

В случае непрерывного множества X используют обозначение вида:

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \frac{\mu_A(x)}{x}, \quad (2.2)$$

где символы \sum и \int в формулах 2.1 и 2.2 означают совокупность пар $\mu_A(x)$ и x .

В определении значения предпочтительного поезда применены функции принадлежности ($\mu_A(x)$), которые приписывают каждому элементу $x \in X$ степень его принадлежности к нечёткому множеству \tilde{A} (рисунок 2.2). При этом возможны три случая:

- 1) $\mu_A(x)=1$ (полная принадлежность элемента x к множеству \tilde{A});
- 2) $0 < \mu_A(x) < 1$ (частичная принадлежность элемента x к множеству \tilde{A});

3) $\mu_A(x)=0$ (отсутствие принадлежности элемента x к множеству \tilde{A}).



Рисунок 2.2 – График функций принадлежности четкого и нечеткого множества

Построение моделей принятия решений в нечеткой оценке пассажирских поездов дальнего следования в данной работе основано на использовании нечеткой логики. Нечеткая логика позволяет установить связь между нечеткими выходными данными от пассажиров, характеризующие поезда, с их формальным описанием.

Принятие решения в случае поступления нечеткой входной информации [27] возможно с использованием нечеткого логического вывода.

Нечеткий логический вывод [91] включает несколько понятий (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Понятия нечеткого логического вывода

Алгоритм операций нечеткого логического вывода определяет структуру экспертной системы (рисунок 2.4).

Можно установить нечеткие правила определения потребного количества пассажирских поездов дальнего следования, которые включают операции «или» со знаком « \vee », и операции «и» со знаком « \wedge »:

$$\mu_{\tilde{A}\wedge\tilde{B}}(x) = \min\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\};$$

$$\mu_{\tilde{A}\vee\tilde{B}}(x) = \max\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\}.$$



Рисунок 2.4 – Схема нечеткого логического вывода

Аналитическое представление в виде простой математической функции [43] упрощают формализации нечеткой поступающей информации. Наибольшее распространения получили треугольная и трапецеидальная функции принадлежности. Треугольная функция принадлежности задается следующим выражением:

$$\mu_M(x) = \begin{cases} \frac{x - z}{b - z}, & \text{если } z \leq x \leq b, \\ \frac{s - x}{s - b}, & \text{если } b \leq x \leq s, \\ 0, & \text{в иных случаях,} \end{cases}$$

где z, b, s – параметры, принимающие произвольные действительные значения и упорядоченные отношением: $z \leq b \leq s$.

Треугольная функция принадлежности создает унимодальное нечеткое множество с границами (z, s) (нечеткие значения оценки) и ядром b (четкое значение оценки).

Трапециевидная функция принадлежности задается выражением:

$$\mu_M(x) = \begin{cases} \frac{x-z}{b-z}, & \text{если } z \leq x \leq b, \\ \frac{\varepsilon-x}{\varepsilon-s}, & \text{если } s \leq x \leq \varepsilon, \\ 1, & \text{если } b \leq x \leq s, \\ 0, & \text{в иных случаях,} \end{cases}$$

где z, b, s, ε – параметры, упорядоченные отношением: $z \leq b \leq s \leq \varepsilon$ [50].

Трапециевидная функция принадлежности создает унимодальное нечеткое множество с границами (z, s) и (b, ε) (нечеткие значения оценки) и ядром (b, s) (четкое значение оценки).

Кроме треугольной и трапециевидной функций принадлежности при формализация нечеткой поступающей информации может быть использована синглтонная функция принадлежности, которая записывается выражением:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & x = z, \\ 0, & x \neq z. \end{cases}$$

На рисунке 2.5 представлены функции принадлежности: а – треугольная, б – трапециевидная, в – синглтонная.

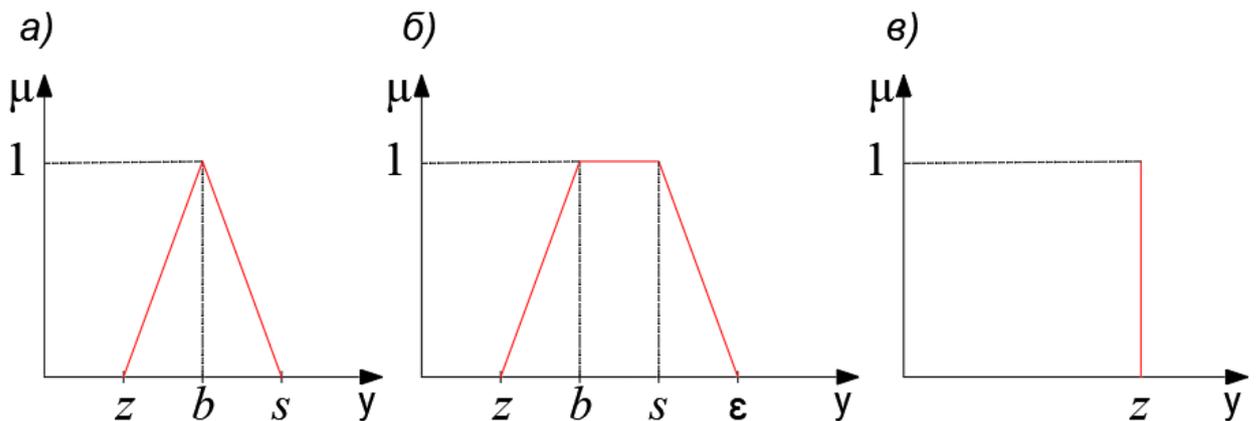


Рисунок 2.5 – Графики функции принадлежности: а – треугольной, б – трапециевидной, в – синглтонная

Функции принадлежности позволяют аналитически характеризовать слабо формализуемую информацию от пассажиров. Примером такой

информации является утверждение: «почти предпочтительный поезд для пассажиров». В связи с этим описание пассажирских поездов расчетного участка железной дороги требует формализацию поступающей информации от пассажиров, то есть получение значений лингвистических переменных [31].

Лингвистическая переменная описывается пятью типами данных:

$$\langle B, T, X, G, M \rangle, \quad (2.3)$$

где B – имя переменной; T – множество переменных [9], каждый элемент которого задается нечетким множеством на универсальном множестве X [30,32]; G – синтаксические правила, порождающие названия переменных; M – семантические правила, задающие функции принадлежности переменных, порожденных семантическими правилами из G .

В целях специализации лингвистических переменных в данной работе названием утверждения принято имя прилагательное женского рода в единственном числе и именительном падеже. Примерами могут быть утверждения: «*высокая*» – оценка объекта исследования, характеризующая его как самый подходящий и «*низкая*» – оценка объекта исследования, характеризующая его как самый неподходящий. Переход от классического четкого множества к нечеткому достигается отказом от возможности точно указать, принадлежит ли данный объект исследования к множеству или нет. Поэтому, в качестве промежуточных значений оценок может быть использовано утверждение «*средняя*». В необходимых случаях, число оценок объектов исследования может быть увеличено использованием наречий «*ниже*», «*выше*» и так далее. Число таких оценок может быть любым и, если объект исследования характеризовать тремя утверждениями, используются оценки «*высокая*», «*средняя*», «*низкая*».

Пример 2.1

Построим функции принадлежности лингвистической переменной «Вероятность выбора поезда пассажирами». Значения, принимаемые

переменной – увеличение вероятности выбора поезда в зависимости от его расписания движения, выраженное в %. Лингвистические оценки, характеризующие поезда пассажирами, будут следующие: «высокая», «выше средней», «ниже средней», «низкая».

По результатам опроса пассажиров были оценены поезда согласно их расписанию движения (таблица 2.1), характеризующиеся качественными признаками для пассажиров.

Таблица 2.1 – Лингвистическая оценка поездов

Отправление поезда	Прибытие поезда	Лингвистическая оценка
удобное	удобное	высокая
неудобное	удобное	выше средней
удобное	неудобное	ниже средней
неудобное	неудобное	низкая

Функция принадлежности лингвистической оценки «высокая» задана синглтонной функцией, так как создается удобное для пассажиров расписание движения поезда. Трапецеидальные функции принадлежности характеризуют вероятности выбора поездов, характеризующиеся лингвистическими оценками «выше средней» и «ниже средней», для которых, на основании оценки экспертов, приняты унимодальные нечеткие множества с границами $(0, 25) \cup (50, 75)$ и $(25, 50) \cup (75, 100)$ соответственно. Функция принадлежности лингвистической оценки «низкая» может быть задана синглтонной функцией, однако, из-за отсутствия альтернативных вариантов следования до конечного пункта, может возникнуть необходимость выбора поезда с неудобным расписанием движения и в этом случае она будет соответствовать вероятности выбора поезда на 25%. График функций принадлежности лингвистических оценок вероятности выбора поезда пассажирами представлен на рисунке 2.6.

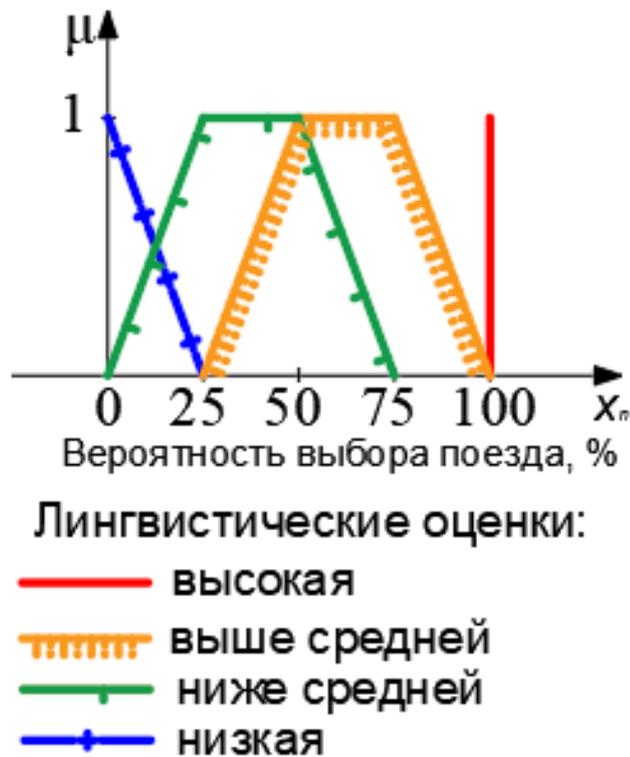


Рисунок 2.6 – График функций принадлежности лингвистических оценок вероятности выбора поезда пассажирами

Рассмотрим пассажирский поезд, характеризующийся лингвистической оценкой «*выше средней*». Нечеткое множество для этой оценки представлено в виде:

$$x_n = \left(\frac{0}{0}, \frac{0}{25}, \frac{1}{50}, \frac{1}{75}, \frac{0}{100} \right).$$

Значения вероятностей $(0; 0; 1; 1; 0)$ вычислены по результатам опроса группы экспертов. Высота нечеткого множества лингвистической переменной «Вероятность выбора поезда пассажирами» равна 1, т. е. множество является нормальным.

2.1.2 Ранжирование пассажирских поездов дальнего следования в соответствии с предпочтениями пассажиров

При большом количестве поездов одного назначения перед многими пассажирами встает проблема выбора поезда, удовлетворяющего определенным условиям. Принимая решение выбора появляются некоторые трудности по той причине, что поезда характеризуются различным комплексом нередко неоднозначных параметров: один поезд может отличаться в лучшую сторону по одним факторам, а по другим – в худшую [61]. Решить трудность выбора «нужного» поезда можно совместным учетом всех рассматриваемых факторов. При этом нередко возникают проблемы, связанные с несовместимостью значений факторов, измеряемых в разнотипных шкалах. Использование косвенных методов теории нечетких множеств позволит перейти к единой шкале измерения с сохранением сущности факторов и установить поезда в порядке предпочтения на расчетном участке железной дороги.

С целью достижения оптимального варианта решения конкретных задач применяют методы критериального анализа иерархий, которые заключаются в сравнительном анализе альтернатив вариантов между собой. Важной особенностью этих методов является определение весовых коэффициентов факторов, по которым характеризуются объекты исследования. Обобщив вышесказанное, можно сделать вывод, что для достижения поставленной цели исследования требуется сравнить альтернативы вариантов, которые обладают факторами, определяющими степень соответствия цели [12] (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Иерархическая структура достижения цели исследования

Метод Т. Саати.

В 1970 г. Томас Саати разработал метод анализа иерархий, основой которого являются попарные сравнения альтернатив вариантов по каждому из факторов и попарное сравнение факторов с точки зрения важности для достижения поставленной цели. Выполненные парные сравнения элементов объекта исследования представляются в виде матрицы:

$$A = \begin{matrix} p_1 \\ p_2 \\ \dots \\ p_n \end{matrix} \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1n} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_{n1} & z_{n2} & \dots & z_{nn} \end{bmatrix}, \quad (2.4)$$

где z_{ij} – значимость элемента p_i в сравнении с p_j (определяется по шкале Саати, $i, j = \overline{1, n}$).

Оценка значимости сравнений элементов объекта исследования представлена в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Оценка значимости сравнений элементов объекта исследования

Значение значимости	Оценка значимости
1	одинаковая
2	почти слабая
3	слабая
4	почти существенная
5	существенная
6	почти сильная
7	сильная
8	почти абсолютная
9	абсолютная

Вектор $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ матрицы парных сравнений и максимально собственное значение матрицы λ_{max} определяются из системы уравнений:

$$\begin{cases} A \cdot W = \lambda_{max} \cdot W \\ w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1 \end{cases} \quad (2.5)$$

После определения весовых коэффициентов рассматриваемых факторов требуется выполнить проверку согласованности сравнений альтернатив экспертами, участвующими в исследовании. Проверка выполняется в следующей последовательности:

1. Вычисляются суммы элементов столбцов для матрицы сравнений:

$$S_j = z_{1j} + z_{2j} + \dots + z_{nj}. \quad (2.6)$$

2. Производится умножение сумм элементов и значений вектора весовых коэффициентов. Полученные результаты суммируются:

$$\lambda_{max} = S_1 w_1 + S_2 w_2 + \dots + S_n w_n. \quad (2.7)$$

3. Определяется индекс согласованности сравнений альтернатив экспертами, показывающий неточность максимального значения матрицы λ_{max} :

$$ИС = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}, \quad (2.8)$$

где $ИС$ – индекс несогласованности;

n – размерность матрицы A .

4. Определяется оценка согласованности сравнений альтернатив экспертами:

$$OC = \frac{ИС}{СИ}, \quad (2.9)$$

где $СИ$ – случайный индекс, который определяется в зависимости от числа строк матрицы n сравнения по таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Значения индекса случайной согласованности

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$СИ$	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Полученное оценка согласованности сравнений альтернатив экспертами со значение $OC \leq 0,15$ считается приемлемым.

Отличительной особенностью метода Саати [100], которая увеличивает трудоемкость расчетов, является вычисление вектора матрицы. В целях упрощения расчетов был разработан *модифицированный метод Саати*, который реализован на идее распределения степеней принадлежности элементов универсального множества, согласно их рангам. Рассматривается лингвистическая переменная A , формализуемая нечетким множеством в виде совокупности пар:

$$A = \{[p_1, \mu_A(p_1)], [p_2, \mu_A(p_2)], \dots, [p_n, \mu_A(p_n)]\}, \quad (2.10)$$

где $T = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ – универсальное множество [56], на котором задается нечеткое множество A . Ранг элемента $p_i \in T$ – это $r_A(p_i)$. Для дальнейших построений вводятся обозначения: $r_A(p_i) = r_i$ и $\mu_A(p_i) = \mu_i$. При этом, правило распределения степеней принадлежности задается в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\mu_1}{r_1} = \frac{\mu_2}{r_2} = \dots = \frac{\mu_n}{r_n} \\ \mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_n = 1 \end{cases}. \quad (2.11)$$

Присвоив элементам объекта исследования $p_i \in T$ с принадлежностью μ_i , $\mu_j = \frac{r_j}{r_i} \mu_i$ для всех $j \neq i$, степени принадлежности элементов к нечеткой лингвистической переменной A , учитывая условие нормирования, находят по формулам:

$$\begin{aligned} \mu_1 &= \left(1 + \frac{r_2}{r_1} + \frac{r_3}{r_1} + \dots + \frac{r_n}{r_1}\right)^{-1} \\ \mu_2 &= \left(\frac{r_1}{r_2} + 1 + \frac{r_3}{r_2} + \dots + \frac{r_n}{r_2}\right)^{-1} \\ &\dots \\ \mu_n &= \left(\frac{r_1}{r_n} + \frac{r_2}{r_n} + \frac{r_3}{r_n} + \dots + 1\right)^{-1}. \end{aligned} \quad (2.12)$$

В результате оценки элементов исследуемого объекта может возникнуть нечеткость, которая снижается использованием в сравнительных вариантах альтернатив треугольных нечетких чисел [85].

С помощью специальной шкалы преобразований лингвистических оценок (таблица 2.4) для построения функции принадлежности, значения в матрице исследуемого объекта, которая была получена по классическому методу Саати, заменяются нечеткими числами [98]. В результате матрица элементов приобретает вид:

$$\tilde{A} = (\tilde{z}_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & (z_{12}, b_{12}, p_{12}) & \dots & (z_{1n}, b_{1n}, p_{1n}) \\ (z_{21}, b_{21}, p_{21}) & (1,1,1) & \dots & (z_{2n}, b_{2n}, p_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (z_{n1}, b_{n1}, p_{n1}) & (z_{n2}, b_{n2}, p_{n2}) & \dots & (1,1,1) \end{bmatrix}, \quad (2.13)$$

где $\tilde{z}_{ij} = (z_{ij}, b_{ij}, p_{ij}) = \widetilde{z_{ij}^{-1}} = (1/z_{ji}, 1/b_{ji}, 1/p_{ji})$, $i, j = \overline{1, n}$, $i \neq j$ или $\tilde{z}_{jp} = (1, 1, 1)$, $i = j$ – треугольные нечеткие числа, характеризующие значимость элемента множества.

Таблица 2.4 – Шкала преобразований лингвистических оценок

Интенсивность важности	Оценка значимости	Нечеткое число	Обратное нечеткое число
1	одинаковая	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
2	почти слабая	(1/4, 3/4, 5/4)	(4/5, 4/3, 4)
3	слабая	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)
4	почти существенная	(3/2, 5/4, 7/4)	(4/7, 4/5, 2/3)
5	существенная	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)
6	почти сильная	(5/4, 11/4, 9/4)	(4/9, 4/11, 4/5)
7	сильная	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
8	почти абсолютная	(7/4, 9/4, 11/4)	(4/11, 4/9, 4/7)
9	абсолютная	(2, 5/2, 3)	(1/3, 2/5, 1/2)

Графическое изображение треугольных нечетких чисел оценок значимости объекта исследования представлено на рисунке 2.8.

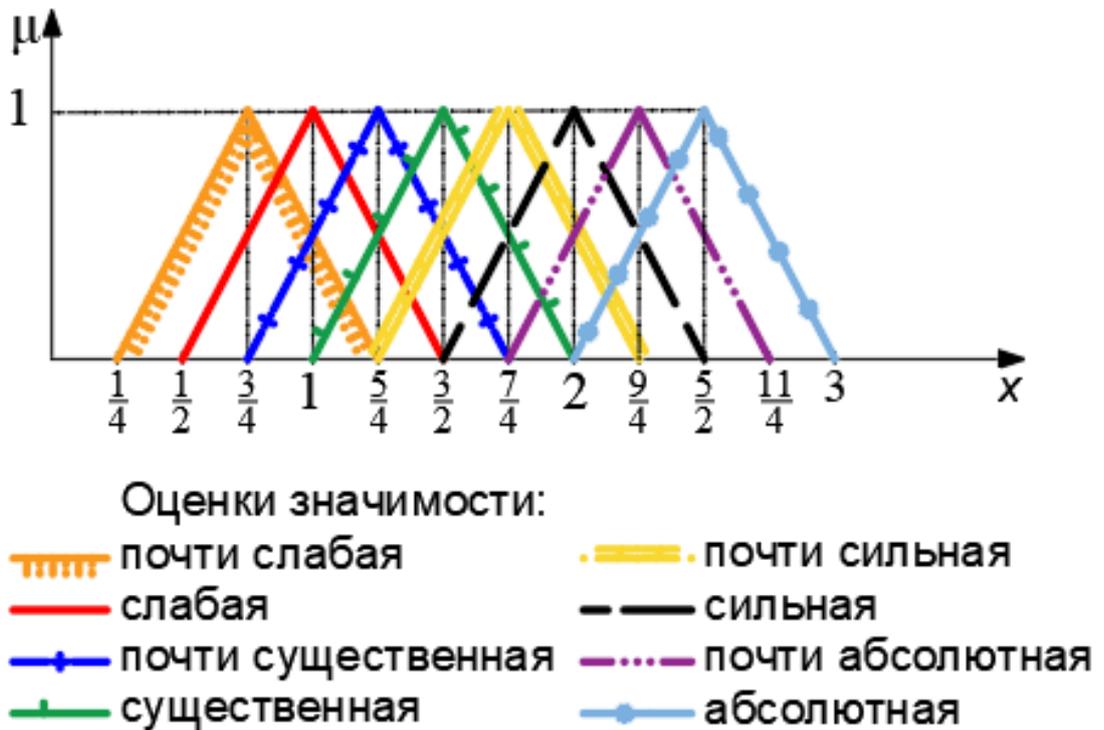


Рисунок 2.8 – Графическое изображение треугольных нечетких чисел оценок значимости объекта исследования

Расчет векторов приоритетов матрицы 2.14 будет выполняться методом расширенного анализа, предложенный Д. Чангом [93]. Метод включает следующие шаги:

1 шаг: Рассчитываются суммы по строкам матрицы:

$$RS_i = \sum_{j=1}^n \widetilde{z}_{ij} = (\sum_{j=1}^n z_{ij}, \sum_{j=1}^n b_{ij}, \sum_{j=1}^n p_{ij}), i = 1, \dots, n. \quad (2.14)$$

2 шаг: Нормализуются полученные суммы по формуле:

$$\widetilde{S}_i = \frac{RS_i}{\sum_{j=1}^n RS_j} = \left(\frac{\sum_{j=1}^n z_{ij}}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij}}, \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij}}, \frac{\sum_{j=1}^n p_{ij}}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n z_{ij}} \right), i = 1, \dots, n. \quad (2.15)$$

3 шаг: Вычисляется степень возможности того, что $S_i \geq S_j$:

$$V(\widetilde{S}_i \geq \widetilde{S}_j) = \begin{cases} 1, & \text{если } b_i \geq b_j, \\ 0, & \text{если } z_j \geq z_i, \\ \frac{p_i - z_j}{(p_i - b_i) + (b_j - z_j)}, & \text{другое,} \end{cases} \quad (2.16)$$

где $\widetilde{S}_i = (z_i, b_i, p_i)$ и $\widetilde{S}_j = (z_j, b_j, p_j)$.

4 шаг: Вычисляется степень возможности того, что S_i предпочтительней всех остальных нечетких чисел:

$$V(\widetilde{S}_i \geq \widetilde{S}_j | j = 1, \dots, n; j \neq i) = \min_{j \in \{1, \dots, n\}, j \neq i} V(\widetilde{S}_i \geq \widetilde{S}_j), i = 1, \dots, n. \quad (2.17)$$

5 шаг: Определяется вектор приоритетов $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ нечеткой матрицы:

$$w_i = \frac{V(\widetilde{S}_i \geq \widetilde{S}_j | j=1, \dots, n; j \neq i)}{\sum_{k=1}^n V(\widetilde{S}_k \geq \widetilde{S}_j | j=1, \dots, n; j \neq k)}, i = 1, \dots, n. \quad (2.18)$$

Графическое изображение оценок треугольных нечетких чисел представлено на рисунке 2.9. Точкой f обозначено место пересечения треугольных нечетких чисел.

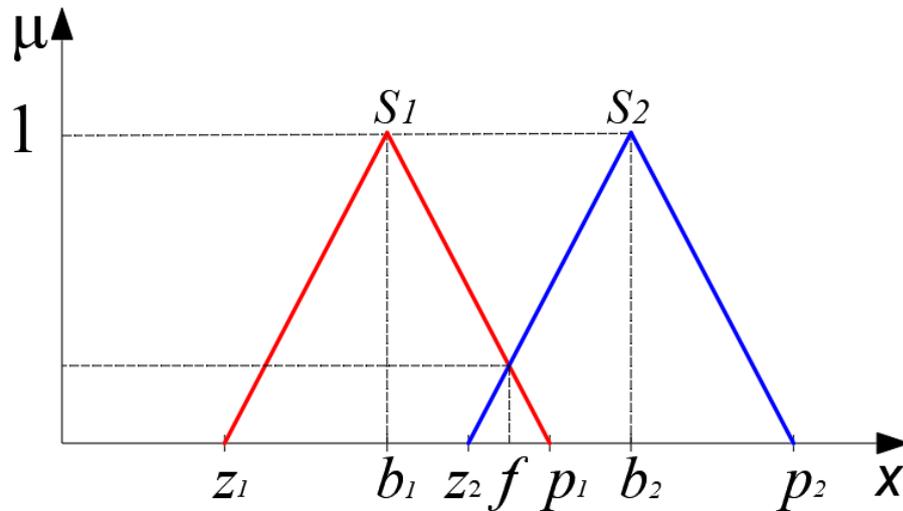


Рисунок 2.9 – Графическое изображение оценки сравнений
треугольных нечетких чисел

Сравнения S_2 и S_1 возможны в случае вычислений оценок неравенств:
 $V(S_2 \geq S_1)$.

Максимальная величина нечеткого выпуклого числа из k нечетких чисел S_i ($i = 1, 2, \dots, k$) определяется по формуле:

$$V(S \geq S_1, S_2, \dots, S_k) = V[(S \geq S_1) \cap (S \geq S_2), \dots, (S \geq S_k)] = \min V(S \geq S_i).$$

Приняв результаты сравнений за величину $d'(A_i) = \min(S_i \geq S_k)$ для $k = 1, 2, \dots, n$, определяется вектор:

$$W' = (f'(A_1), f'(A_2), \dots, f'(A_n)), \quad (2.19)$$

где A_i ($i = \overline{1, n}$) – классы факторов. Координаты найденных векторов и являются степенями принадлежности классов факторов к нечетким лингвистическим переменным.

Пример 2.2

Определим поезда в порядке предпочтения для пассажиров. Расчетный участок железной дороги представлен на рисунке 2.10.

Введены следующие обозначения:

Π_i – мощности струй пассажиропотоков, *пасс/сут*;

x_j – количество поездов j -го назначения;

E_j – стоимостные оценки поездов, *условные единицы (у.е.)*;

τ_j – периоды отправления поездов (*утро; день; вечер; ночь*);

t_{cl} – время следования поездов по участкам, *часы*.

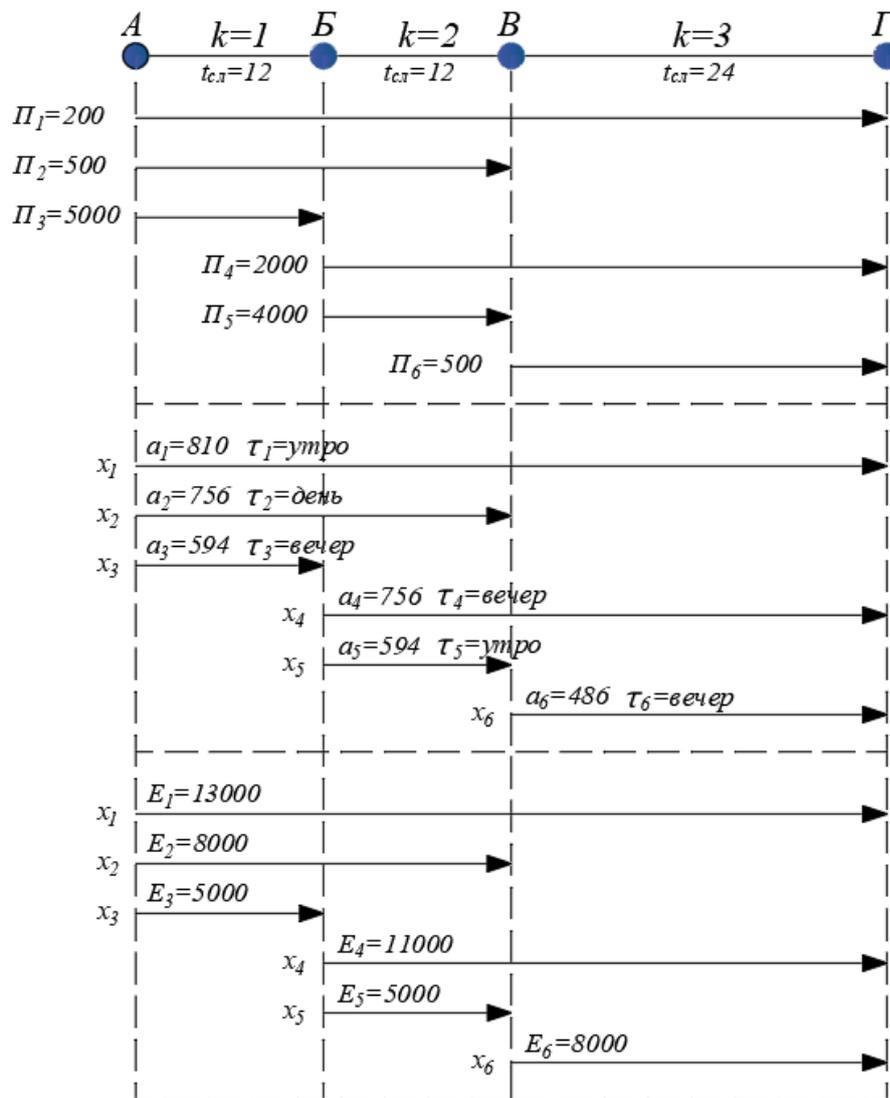


Рисунок 2.10 – Расчетный участок железной дороги

Фактором оценки поездов является удобство расписания их движения для пассажира (период отправления пассажира с начальной станции и период прибытия пассажира на конечную станцию его поездки), измеряемое в шкале:

{*утро, день, вечер, ночь*}. Альтернативные варианты выбора поездов пассажиропотоками представлены на рисунке 2.11.

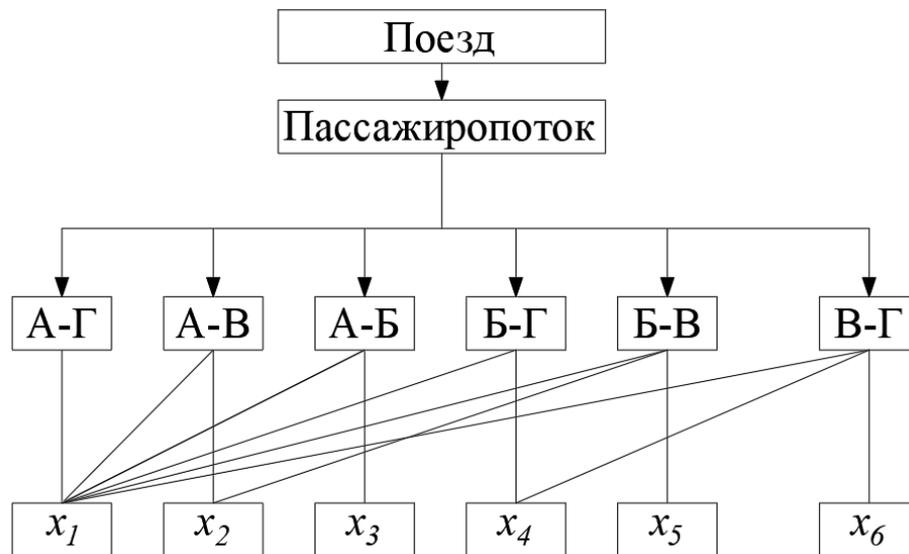


Рисунок 2.11 – Альтернативные варианты выбора пассажирских поездов

Решение:

Для пассажиропотока *A–Г* абсолютно значимым вариантом поезда является вариант поездного назначения x_1 . Других альтернатив беспересадочного сообщения при выборе железнодорожного транспорта для данного пассажиропотока нет. Удобство расписания движения поездов позволило оценить данную струю максимальным баллом (9).

Пассажиропоток *A–B* может использовать две струи (x_1 и x_2). Учитывая исходные данные, пассажирские поезда назначением x_1 будут прибывать в пункт «*B*» в утреннее время, а пассажирские поезда назначением x_2 будут прибывать в пункт «*B*» в дневное время. Учитывая расписание, экспертами были оценены поезда назначений x_1 и x_2 баллами 9 и 5 соответственно. Аналогичным образом были оценены поезда для пассажиропотоков *A–Б*, *Б–Г*, *Б–В* и *В–Г*.

Парные сравнений вычисления коэффициентов важности поездов, а также их характеристика, содержащая неточность максимального значения

матрицы (λ_{max}), индекс согласованности (ИС) и отношение согласованности (ОС), представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Парных сравнений вычисления коэффициентов важности поездов

Парные сравнения							Характеристика
для пассажиропотока А–В							
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	-
x_1	1	2	-	-	-	-	
x_2	1/2	1	-	-	-	-	
x_3	-	-	-	-	-	-	
x_4	-	-	-	-	-	-	
x_5	-	-	-	-	-	-	
x_6	-	-	-	-	-	-	
для пассажиропотока А–Б							
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	$\lambda_{max} = 3,03$ $ИС = 0,015$ $ОС = 0,26 < 0,15$ (парные сравнения согласованы)
x_1	1	3	1/3	-	-	-	
x_2	1/3	1	1/9	-	-	-	
x_3	3	9	1	-	-	-	
x_4	-	-	-	-	-	-	
x_5	-	-	-	-	-	-	
x_6	-	-	-	-	-	-	
для пассажиропотока Б–Г							
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	-
x_1	1	-	-	1	-	-	
x_2	-	-	-	-	-	-	
x_3	-	-	-	-	-	-	
x_4	1	-	-	1	-	-	
x_5	-	-	-	-	-	-	
x_6	-	-	-	-	-	-	
для пассажиропотока Б–В							
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	$\lambda_{max} = 4,016$ $ИС = 0,005$ $ОС = 0,06 < 0,15$ (парные сравнения согласованы)
x_1	1	3	-	1	2	-	
x_2	1/3	1	-	1/3	1/2	-	
x_3	-	-	-	-	-	-	
x_4	1	3	-	1	2	-	
x_5	1/2	2	-	1/2	1	-	
x_6	-	-	-	-	-	-	
для пассажиропотока В–Г							
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	$\lambda_{max} = 3$ $ИС = 0$ $ОС = 0 < 0,15$ (парные сравнения согласованы)
x_1	1	-	-	1	-	2	
x_2	-	-	-	-	-	-	
x_3	-	-	-	-	-	-	
x_4	1	-	-	1	-	2	
x_5	-	-	-	-	-	-	
x_6	1/2	-	-	1/2	-	1	

Результат парных сравнений вычисления коэффициентов важности пассажирских поездов дальнего следования всех назначений представлен в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Результат парных сравнений вычисления коэффициентов важности пассажирских поездов дальнего следования всех назначений

	<i>A–Г</i>	<i>A–B</i>	<i>A–Б</i>	<i>Б–Г</i>	<i>Б–B</i>	<i>Б–Г</i>
<i>x₁</i>	1	0,67	0,23	0,5	0,35	0,4
<i>x₂</i>	-	0,33	0,08	-	0,11	-
<i>x₃</i>	-	-	0,69	-	-	-
<i>x₄</i>	-	-	-	0,5	0,35	0,4
<i>x₅</i>	-	-	-	-	0,19	-
<i>x₆</i>	-	-	-	-	-	0,2

Далее в зависимости от мощностей пассажиропотоков определены весовые коэффициенты факторов выбора поездов пассажирами (таблица 2.7) [82].

Дроби в ячейках показывают превосходство одного элемента в сравнении с другим [77]. Например, на пересечении строки «*П₂*» и столбца «*П₁*» записана дробь $500/200$. Это выражает мнение экспертов о том, что мощность пассажиропотока второго поездного назначения в $500/200$ раза выше, чем мощность пассажиропотока первого поездного назначения. Здесь вместо приведенной шкалы превосходства использовалось понятие "быть лучше в *N* раз", что также допустимо. Нормируемая сумма получена путем деления суммы каждой строки на общую сумму столбца «Сумма по строке», т.е. на $121,39$ [82].

Таблица 2.7 – Результат парных сравнений вычисления коэффициентов важности факторов выбора поездов пассажирами в зависимости от мощностей пассажиропотоков

	П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅	П ₆	Сумма по строке	Нормируемая сумма
П ₁	1	0,4 $\left(\frac{200}{500}\right)$	0,04 $\left(\frac{200}{5000}\right)$	0,1 $\left(\frac{200}{2000}\right)$	0,05 $\left(\frac{200}{4000}\right)$	0,4 $\left(\frac{200}{500}\right)$	1,99	0,016
П ₂	2,5 $\left(\frac{500}{200}\right)$	1	0,1 $\left(\frac{500}{5000}\right)$	0,25 $\left(\frac{500}{2000}\right)$	0,125 $\left(\frac{500}{4000}\right)$	1 $\left(\frac{500}{500}\right)$	4,975	0,041
П ₃	25 $\left(\frac{5000}{200}\right)$	10 $\left(\frac{5000}{500}\right)$	1	2,5 $\left(\frac{5000}{2000}\right)$	1,25 $\left(\frac{5000}{4000}\right)$	10 $\left(\frac{5000}{500}\right)$	49,75	0,410
П ₄	10 $\left(\frac{2000}{200}\right)$	4 $\left(\frac{2000}{500}\right)$	0,4 $\left(\frac{2000}{500}\right)$	1	0,5 $\left(\frac{2000}{4000}\right)$	4 $\left(\frac{2000}{500}\right)$	19,9	0,164
П ₅	20 $\left(\frac{4000}{200}\right)$	8 $\left(\frac{4000}{500}\right)$	0,8 $\left(\frac{4000}{5000}\right)$	2 $\left(\frac{4000}{2000}\right)$	1	8 $\left(\frac{4000}{500}\right)$	39,8	0,328
П ₆	2,5 $\left(\frac{500}{200}\right)$	1 $\left(\frac{500}{500}\right)$	0,1 $\left(\frac{500}{5000}\right)$	0,25 $\left(\frac{500}{2000}\right)$	0,125 $\left(\frac{500}{4000}\right)$	1	4,975	0,041
Общая сумма:							121,39	1

Следовательно, имеем:

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0,67 & 0,23 & 0,5 & 0,35 & 0,4 \\ 0 & 0,33 & 0,08 & 0 & 0,11 & 0 \\ 0 & 0 & 0,69 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,35 & 0,4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,19 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,2 \end{bmatrix}$$

$$R = [0,016 \quad 0,041 \quad 0,410 \quad 0,164 \quad 0,328 \quad 0,041]$$

В соответствии с формулой (2.3) получаем матрицу элементов, определяющую предпочтения поездов:

$$M_{\tilde{\varphi}} = \begin{bmatrix} 0,351 \\ 0,082 \\ 0,283 \\ 0,213 \\ 0,062 \\ 0,009 \end{bmatrix}$$

Таким образом, применяя метод парных сравнений теории нечетких множеств можно установить перечень поездов всех назначений в порядке предпочтения [81]: $x_1, x_3, x_4, x_2, x_5, x_6$ со значениями функции принадлежности соответственно $0,351, 0,283, 0,213, 0,082, 0,062$ и $0,009$.

Определим векторы приоритетов при выборе поездов пассажирами. Результаты расчетов представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Парные сравнения и результат вычисления коэффициентов важности поездов

Парные сравнения и результат вычисления коэффициентов важности поездов							ΣM
для пассажиропотока А–В							
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	
x_1	(1,1,1)	(0.75,1.25,1.75)	-	-	-	-	(1.7,2.25,2.75)
x_2	(0.571,0.8,1.333)	(1,1,1)	-	-	-	-	(1.571,1.8,2.333)
x_3	-	-	-	-	-	-	
x_4	-	-	-	-	-	-	
x_5	-	-	-	-	-	-	
x_6	-	-	-	-	-	-	
$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^b M_{gi}^j = (3.271, 4.05, 5.083)$; $[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^b M_{gi}^j]^{-1} = (0.197, 0.247, 0.306)$; $S_1 = (0.3349, 0.5558, 0.8415)$; $S_2 = (0.3095, 0.4446, 0.7139)$ $V(S_1 \geq S_2) = 1$; $V(S_2 \geq S_1) = 0.7732$; $d'(S_1) = 1$; $d'(S_2) = 0.7732$; $w_1 = 0.564$; $w_2 = 0.436$							
для пассажиропотока А–Б							
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	
x_1	(1,1,1)	(1,1.5,2)	(0.5,0.667,1)	-	-	-	(2.5,3.167,4)
x_2	(0.5,0.667,1)	(1,1,1)	(0.286,0.333,0.4)	-	-	-	(1.786,2,2.4)
x_3	(1,1.5,2)	(2.5,3,3.5)	(1,1,1)	-	-	-	(4.5,5.5,6.5)
x_4	-	-	-	-	-	-	
x_5	-	-	-	-	-	-	
x_6	-	-	-	-	-	-	
$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^b M_{gi}^j = (8.786, 10.667, 12.9)$; $[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^b M_{gi}^j]^{-1} = (0.078, 0.094, 0.114)$; $S_1 = (0.195, 0.2977, 0.456)$; $S_2 = (0.1393, 0.188, 0.2736)$ $S_3 = (0.351, 0.517, 0.741)$; $V(S_1 \geq S_2) = 1$; $V(S_1 \geq S_3) = 0.3228$; $V(S_2 \geq S_1) = 0.4174$; $V(S_2 \geq S_3) = 0$; $V(S_3 \geq S_1) = 1$; $V(S_3 \geq S_2) = 1$; $d_1 = V(S_1 \geq S_2, S_3) = \min(1, 0.3228) = 0.3228$; $d_2 = V(S_2 \geq S_1, S_3) = \min(0.4174, 0) = 0$; $d_3 = V(S_3 \geq S_1, S_2) = \min(1, 1) = 1$; $w_1 = 0.244$; $w_2 = 0$; $w_3 = 0.756$.							
для пассажиропотока Б–Г							
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	
x_1	(1,1,1)	-	-	(1,1,1)	-	-	(2,2,2)
x_2	-	-	-	-	-	-	
x_3	-	-	-	-	-	-	
x_4	(1,1,1)	-	-	(1,1,1)	-	-	(2,2,2)
x_5	-	-	-	-	-	-	

Продолжение таблицы 2.8

x_6	-	-	-	-	-	-	
$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^b M_{gi}^j = (4,4,4); [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^b M_{gi}^j]^{-1} = (0.25,0.25,0.25); S_1=(0.5,0.5,0.5); S_2=S_1=(0.5,0.5,0.5); V(S_1 \geq S_2)=1; V(S_2 \geq S_1)=1;$ $d'(S_1) = 1; d'(S_2) = 1; w_1=0.5; w_2=0.5$							
для пассажиропотока B-B							
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	
x_1	(1,1,1)	(1,1.5,2)		(1,1,1)	(0.75,1.25,1.75)	-	(3.75,4.75,5.75)
x_2	(0.5,0.667,1)	(1,1,1)		(0.5,0.667,1)	(0.571,0.8,1.333)	-	(2.571,3.134,4.333)
x_3						-	
x_4	(1,1,1)	(1,1.5,2)		(1,1,1)	(0.75,1.25,1.75)	-	(3.75,4.75,5.75)
x_5	(0.571,0.8,1.333)	(0.75,1.25,1.75)	-	(0.571,0.8,1.333)	(1,1,1)	-	(2.892,3.85,5.416)
x_6	-	-	-	-	-	-	
$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^b M_{gi}^j = (12.963,16.484,21.249); [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^b M_{gi}^j]^{-1} = (0.047,0.061,0.077); S_1=(0.047,0.061,0.077); S_2=(0.1208,0.1912,0.3336);$ $S_3=(0.1763,0.2898,0.4428); S_4=(0.1359,0.2349,0.417) V(S_1 \geq S_2)=1; V(S_1 \geq S_3)=1; V(S_1 \geq S_4)=1; V(S_2 \geq S_1)=0.6147; V(S_2 \geq S_3)=0.6147;$ $V(S_2 \geq S_4)=0.783; V(S_3 \geq S_1)=1; V(S_3 \geq S_2)=1; V(S_3 \geq S_4)=1; V(S_4 \geq S_1)=0.8142; V(S_4 \geq S_2)=1; V(S_4 \geq S_3)=0.8142; d_1=V(S_1 \geq S_2, S_3, S_4)=\min(1,1,1)=1;$ $d_2=V(S_2 \geq S_1, S_3, S_4)=\min(0.6147,0.6147,0.783)=0.6147; d_3=V(S_3 \geq S_1, S_2, S_4)=\min(1,1,1)=1; d_4=V(S_4 \geq S_1, S_2, S_3)=\min(0.8142,1,0.8142)=0.8142;$ $w_1=0.292; w_2=0.179; w_3=0.292; w_4=0.237$							
для пассажиропотока B-Г							
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	
x_1	(1,1,1)			(1,1,1)		(0.75,1.25,1.75)	
x_2							
x_3							
x_4	(1,1,1)			(1,1,1)		(0.75,1.25,1.75)	
x_5							
x_6	(0.571,0.8,1.333)			(0.571,0.8,1.333)		(1,1,1)	
$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^b M_{gi}^j = (7.642,9.1,11.166); [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^b M_{gi}^j]^{-1} = (0.09,0.11,0.131); S_1=(0.2475,0.3575,0.4913); S_2=(0.2475,0.3575,0.4913)$ $S_3=(0.1928,0.286,0.4802); V(S_1 \geq S_2)=1; V(S_1 \geq S_3)=1; V(S_2 \geq S_1)=1; V(S_2 \geq S_3)=1; V(S_3 \geq S_1)=0.765; V(S_3 \geq S_2)=0.765; d_1=V(S_1 \geq S_2, S_3)=\min(1,1)=1;$ $d_2=V(S_2 \geq S_1, S_3)=\min(1,1)=1; d_3=V(S_3 \geq S_1, S_2)=\min(0.765,0.765)=0.765; w_1=0.362; w_2=0.362; w_3=0.276$							

Коэффициенты важности поездов всех назначений представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Коэффициенты важности поездов всех назначений

	<i>A–Г</i>	<i>A–B</i>	<i>A–Б</i>	<i>Б–Г</i>	<i>Б–B</i>	<i>B–Г</i>
x_1	1	0,564	0,244	0,5	0,292	0,362
x_2	-	0,436	0	-	0,179	-
x_3	-	-	0,756	-	-	-
x_4	-	-	-	0,5	0,292	0,362
x_5	-	-	-	-	0,237	-
x_6	-	-	-	-	-	0,276

Следовательно, имеем матрицу:

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0,564 & 0,244 & 0,5 & 0,292 & 0,362 \\ 0 & 0,436 & 0 & 0 & 0,179 & 0 \\ 0 & 0 & 0,756 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,292 & 0,362 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,239 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,276 \end{bmatrix}.$$

$$R = [0,016 \quad 0,041 \quad 0,410 \quad 0,164 \quad 0,328 \quad 0,041].$$

Получаем матрицу элементов, определяющую предпочтения поездов:

$$M_{\tilde{\varphi}} = \begin{bmatrix} 0,332 \\ 0,077 \\ 0,310 \\ 0,192 \\ 0,078 \\ 0,011 \end{bmatrix}.$$

Таким образом, применяя метод парных сравнений теории нечетких множеств можно установить перечень поездов всех назначений в порядке предпочтения: $x_1, x_3, x_4, x_5, x_2, x_6$ со значениями функции принадлежности соответственно $0,332, 0,310, 0,192, 0,078, 0,077$ и $0,011$.

Сравнивая матрицы элементов, определяющих предпочтения поездов, полученных двумя методами (метод Т. Саати и модифицированный метод Т. Саати с использованием в сравнительных вариантах альтернатив треугольных нечетких чисел), можно сделать вывод, что модифицированный метод Т. Саати с использованием в сравнительных вариантах альтернатив треугольных нечетких чисел обеспечивает более высокую точность расчетов.

2.2 Методика расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования

Введем множество пассажирских поездов $X = \{x_1, x_2, \dots, x_j\}$ на расчетном участке железной дороги и множество факторов $\Phi = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m\}$, характеризующих поезд из множества X для пассажиров.

Определим шкалу измерения в виде отрезка $[0,1]$ и для каждого поезда $x_i \in X$ ($i = 1, j$) по значению каждого фактора φ_n ($n = 1, m$) установим оценку $\mu_n(x_i) \in [0,1]$, которая характеризует, насколько этот поезд соответствует понятию «предпочтительный» по n -му фактору. В результате каждый поезд x_i теперь будет представлен множеством оценок: $\{\mu_1(x_i), \mu_2(x_i), \dots, \mu_m(x_i)\}$, измеряемых в однотипной числовой шкале.

Таким образом, для каждого $\varphi_n \in \Phi$ имеется множество $\{\mu_n(x_1), \mu_n(x_2), \dots, \mu_n(x_j)\}$, каждый элемент которого характеризует соответствие поезда x_i понятию «предпочтительный» по этому фактору для пассажиров. Таким образом, это понятие можно представить нечетким множеством, заданным на универсальном множестве поездов X ,

$$\tilde{\varphi}_n = \left\{ \frac{\mu_n(x_1)}{x_1}, \frac{\mu_n(x_2)}{x_2}, \dots, \frac{\mu_n(x_j)}{x_j} \right\} \quad (2.20)$$

с функцией принадлежности $\mu_n(x)$, характеризующей совместимость любого пассажирского поезда дальнего следования $x \in X$ с данным понятием.

Ранжирование вариантов происходит на основе значений функций принадлежности нечётких множеств, соответствующих измеряемым факторам:

$$\mu_{\tilde{\varphi}}(x_i) = \sum_{n=1}^m \beta_n \cdot \mu_n(x_i), \quad (2.21)$$

где $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ – числа ($\sum_{n=1}^m \beta_n = 1$), характеризующие относительную важность факторов $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m$;

$\mu_n(x_i)$ – значение функции принадлежности из отрезка $[0,1]$ для каждого поезда $x_i \in X$ по значению каждого фактора φ_n ($n = 1, m$), которая характеризует, насколько этот поезд соответствует понятию «предпочтительный» по n -му фактору согласно мнению экспертов.

Таким образом, если: $R = [r_1, r_2, \dots, r_m]^{\Phi}$ – матрица коэффициентов важности используемых факторов, $M = \begin{bmatrix} \mu_1(x_1) & \dots & \mu_m(x_1) \\ \dots & \dots & \dots \\ \mu_1(x_j) & \dots & \mu_m(x_j) \end{bmatrix}$ – матрица значений функций принадлежности, то матрица $M_{\tilde{\varphi}}$ элементов $\mu_{\tilde{\varphi}}(x_i), \dots, \mu_{\tilde{\varphi}}(x_j)$ [76], определяющих поезда в порядке предпочтения для пассажиров, имеет вид :

$$M_{\tilde{\varphi}} = MR. \quad (2.22)$$

Рангом элемента будет выступать мощность пассажиропотока j -го назначения:

$$\begin{aligned} r_1 &= \left(1 + \frac{\Pi_2}{\Pi_1} + \frac{\Pi_3}{\Pi_1} + \dots + \frac{\Pi_n}{\Pi_1} \right)^{-1} \\ r_2 &= \left(\frac{\Pi_1}{\Pi_2} + 1 + \frac{\Pi_3}{\Pi_2} + \dots + \frac{\Pi_n}{\Pi_2} \right)^{-1} \\ &\dots \\ r_m &= \left(\frac{\Pi_1}{\Pi_n} + \frac{\Pi_2}{\Pi_n} + \frac{\Pi_3}{\Pi_n} + \dots + 1 \right)^{-1}. \end{aligned} \quad (2.23)$$

Максимальное значение функции принадлежности будет принадлежать «предпочтительному» поезду.

Условие зависимости количества поездов от максимального учета предпочтений пассажиров будет иметь вид:

$$\mu_1(x_1)\chi + \mu_2(x_2)\chi + \dots + \mu_{\bar{\varphi}}(x_j)\chi = \chi, \quad (2.24)$$

где $\mu_{\bar{\varphi}}(x_j)$ – оценка поезда j -го поездного назначения, $\sum \mu_{\bar{\varphi}}(x_j) = 1$;

x_j – количество поездов j -го назначения, $x_j \geq 0$; $\sum_{j=1}^J x_j = \chi$;

χ – суммарное число поездов.

Следует принять во внимание, что максимальный учет предпочтений пассажиров по выбору поездов повлечет за собой организацию движения большого количества поездов и, таким образом, увеличатся эксплуатационные затраты, связанные с формированием этих поездов. С другой стороны, минимальный учет предпочтений пассажиров по выбору поездов будет способствовать оттоку части пассажиропотока на другие виды транспорта из-за отсутствия предпочтительных поездов и, как следствие этого, произойдет уменьшение дохода перевозчика. В связи с этим требуется найти компромиссное решение, устанавливающее допустимую зависимость количества поездов j -го поездного назначения от общего количества поездов с учетом предпочтений пассажиров. Данное решение примет следующий вид (условие учета предпочтений пассажиров):

$$x_j \approx \mu_{\bar{\varphi}}(x_j)\chi. \quad (2.25)$$

Для оценивания важности факторов используется метод экспертных оценок, который основан на выработке обобщенного мнения экспертов – специалистов в области эксплуатации железнодорожного транспорта.

Для каждой пары поездов по отношению к их свойствам нечеткого множества ответы экспертов оцениваются в соответствии со шкалой, представленной в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Шкала лингвистических оценок поездов

Оценка	Оценка значимости	Описание оценки
1	одинаковая	различия в оценках поездов отсутствуют
3	слабая	слабое превосходство характеристики одного поезда по отношению к характеристике другого поезда
5	существенная	существенное превосходство характеристики одного поезда по отношению к характеристике другого поезда
7	сильная	сильное превосходство характеристики одного поезда по отношению к характеристике другого поезда
9	абсолютная	абсолютное превосходство характеристики одного поезда по отношению к характеристике другого поезда
2,4,6,8	промежуточные значения	компромиссное решение характеристики одного поезда по отношению к характеристике другого поезда

При расчете маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования будут учитываться следующие основные условия:

– условие обеспечения беспересадочного сообщения пассажиров. Данное условие должно устанавливать равенство, согласно которому величина корреспонденции пассажиропотока должна быть равна общему количеству пассажиров данной корреспонденции, следующих в поездах различных назначений без пересадки в пути следования:

$$P_i = \sum_{j=1}^J \delta_{ij} y_{ij}; \forall i, \quad (2.26)$$

где P_i – величина i -й корреспонденции пассажиропотока (чел.);

y_{ij} – количество пассажиров i -й корреспонденции пассажиропотока, следующих в поездах j -го назначения (чел.); $y_{ij} \geq 0$;

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если маршрут } i\text{-й корреспонденции пассажиропотока} \\ & \text{входит в маршрут } j\text{-го назначения;} \\ 0, & \text{в ином случае.} \end{cases}$$

– условие освоения корреспонденций пассажиропотоков. Данное условие должно устанавливать неравенство, согласно которому суммарная вместимость поездов на участках их следования должна быть больше или равна общему числу пассажиров, которые могут следовать в этих поездах без пересадки:

$$\delta_{ik} a_j x_j \geq \sum_{i=1}^I \delta_{ijk} y_{ij}; \forall i, \forall k, \quad (2.27)$$

где a_j – вместимость поездов j – го поездного назначения;

I – общее число струй пассажиропотоков;

$$\delta_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{если поезд } j\text{-го назначения} \\ & \text{следует по } k\text{-му участку;} \\ 0, & \text{в ином случае.} \end{cases}$$

$$\delta_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{если маршрут } i\text{-й корреспонденции пассажиропотока входит} \\ & \text{в маршрут } j\text{-го назначения и эти маршруты содержат } k\text{-й участок;} \\ 0, & \text{в ином случае.} \end{cases}$$

– условие освоения густоты пассажиропотоков будет иметь вид:

$$\sum_{i=1}^j \delta_{ik} a_i x_j \geq \Gamma_k, \forall k, \quad (2.28)$$

где $\delta_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{если маршрут } j\text{-го поездного назначения} \\ & \text{следует по } k\text{-му участку железной дороги;} \\ 0, & \text{в ином случае.} \end{cases}$

Γ_k – густота пассажиропотока на участке железной дороги,

$$\Gamma_k = \sum_{i=1}^j \delta_{ik} \Pi_i, \forall k, \quad (2.29)$$

где $\delta_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й пассажиропоток} \\ & \text{следует по } k\text{-му участку железной дороги;} \\ 0, & \text{в ином случае.} \end{cases}$

Оптимальным вариантом количества пассажирских поездов на расчетном участке железной дороги будет считаться вариант с минимумом суммарных эксплуатационных затрат перевозчика от организации сообщения:

$$F = \sum_{i=1}^I E_j x_j \rightarrow \min, \quad (2.30)$$

где E_j – эксплуатационные затраты, приходящиеся на один поезд j -го назначения.

Качественные показатели формирования маршрутной сети пассажирских поездов определяются коэффициентами использования вместимости (n_j) поездов, которые вычисляются по формуле:

$$n_j = \sum_{k=1}^k \frac{N_{jk}}{K_j a_j}. \quad (2.31)$$

При этом населенность j -го поезда на k -ом участке железной дороги будет определена по формуле:

$$N_{jk} = \sum_{i=1}^p \frac{\delta_{ijk} y_{ij}}{x_j}, \quad (2.32)$$

где K_j – общее количество участков, которое входит в маршрут следования j -го назначения.

Пример 2.3

Определим потребное число поездов на участке железной дороги без учета предпочтений пассажиров по выбору поездов при условии выполнения требований по обеспечению беспересадочного сообщения. Исходные данные представлены в примере 2.2.

Решение:

Обозначим ограничения для рассматриваемого примера:

– условие обеспечения беспересадочного сообщения пассажиров (2.26):

$$200 = y_{11};$$

$$500 = y_{21} + y_{22};$$

$$5000 = y_{31} + y_{32} + y_{33};$$

$$2000 = y_{41} + y_{44};$$

$$4000 = y_{51} + y_{52} + y_{54} + y_{55};$$

$$500 = y_{61} + y_{64} + y_{66}.$$

– условие освоения струй пассажиропотоков (2.27):

$$\text{при } j = 1, k = 1: 810 x_1 \geq y_{11} + y_{21} + y_{31};$$

$$\text{при } j = 1, k = 2: 810 x_1 \geq y_{11} + y_{21} + y_{41} + y_{51};$$

$$\text{при } j = 1, k = 3: 810 x_1 \geq y_{11} + y_{41} + y_{61};$$

$$\text{при } j = 2, k = 1: 756 x_2 \geq y_{22} + y_{32};$$

$$\text{при } j = 2, k = 2: 756 x_2 \geq y_{22} + y_{52};$$

$$\text{при } j = 3, k = 1: 594 x_3 \geq y_{33};$$

$$\text{при } j = 4, k = 2: 756 x_4 \geq y_{44} + y_{54};$$

$$\text{при } j = 4, k = 3: 756 x_4 \geq y_{44} + y_{64};$$

при $j = 5, k = 2: 594 x_5 \geq y_{55};$

при $j = 6, k = 3: 486 x_6 \geq y_{66}.$

– условие освоения густот пассажиропотоков (2.28):

$$810 x_1 + 756 x_2 + 594 x_3 \geq 5700;$$

$$810 x_1 + 756 x_2 + 756 x_4 + 594 x_5 \geq 6700;$$

$$810 x_1 + 756 x_4 + 486 x_6 \geq 2700.$$

Целевая функция (2.30) составит: $F = 13000x_1 + 8000x_2 + 5000x_3 + 11000x_4 + 5000x_5 + 8000x_6 \rightarrow \min.$

С помощью программного продукта LPSolve IDE 5.5.2.0 определено потребное количество поездов, необходимых для освоения заданного пассажиропотока без учета предпочтений пассажиров, в количестве: $x_1=4; x_2=4; x_3=0; x_4=0; x_5=1; x_6=0.$ При этом, затраты, связанные с формированием пассажирских поездов дальнего следования (F), составят 89 000 условных единиц.

Пример 2.4

Определим потребное число поездов на участке железной дороги, но теперь с учетом предпочтений пассажиров по выбору поездов при условии выполнения требований по обеспечению беспересадочного сообщения. Исходные данные представлены в примере 2.2.

Решение:

Обозначим ограничение для рассматриваемого примера:

– условие учета предпочтений пассажиров (2.25):

$$x_1 \leq 0.40 \chi;$$

$$x_2 \leq 0.19 \chi;$$

$$x_3 \leq 0.20 \chi;$$

$$x_4 \leq 0.20 \chi;$$

$$x_5 \leq 0.10 \chi;$$

$$x_6 \leq 0.01 \chi.$$

Целевая функция (2.30) составит: $F = 13000x_1 + 8000x_2 + 5000x_3 + 11000x_4 + 5000x_5 + 8000x_6 \rightarrow \min$.

С помощью программного продукта LPSolve IDE 5.5.2.0 определено требуемое количество поездов, необходимых для освоения заданного пассажиропотока с учетом предпочтений пассажиров, в количестве: $x_1=4$; $x_2=2$; $x_3=2$; $x_4=2$; $x_5=1$; $x_6=0$.

При этом, затраты, связанные с формированием пассажирских поездов дальнего следования (F), составят 105 000 условных единиц [84].

Сравнительные результаты определения требуемого количества поездов без учета предпочтений пассажиров по выбору поездов (пример 2.3) и с учетом предпочтений пассажиров по выбору поездов (пример 2.4) приведены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Сравнительные результаты расчетов примеров 2.1 и 2.2

Назначения поездов	Число поездов	
	без учета предпочтений пассажиров по выбору поездов	с учетом предпочтений пассажиров по выбору поездов
x_1	4	4
x_2	4	2
x_3	0	2
x_4	0	2
x_5	1	1
x_6	0	0
Значение целевой функции:		$F_1 = 89\ 000$ усл. ед.
		$F_2 = 105\ 000$ усл. ед.

Результаты определения требуемого количества поездов с учетом и без учета предпочтений пассажиров по выбору поездов дают понять, что решение

данной задачи с учетом предпочтений пассажиров повлечет за собой увеличение затрат на перевозку пассажиров [84].

Установим доход (выручка от продажи билетов на поезда) для каждого поезда при 100% использовании вместимости. Данные о доходах (в у.е.) представлены на рисунке 2.12.

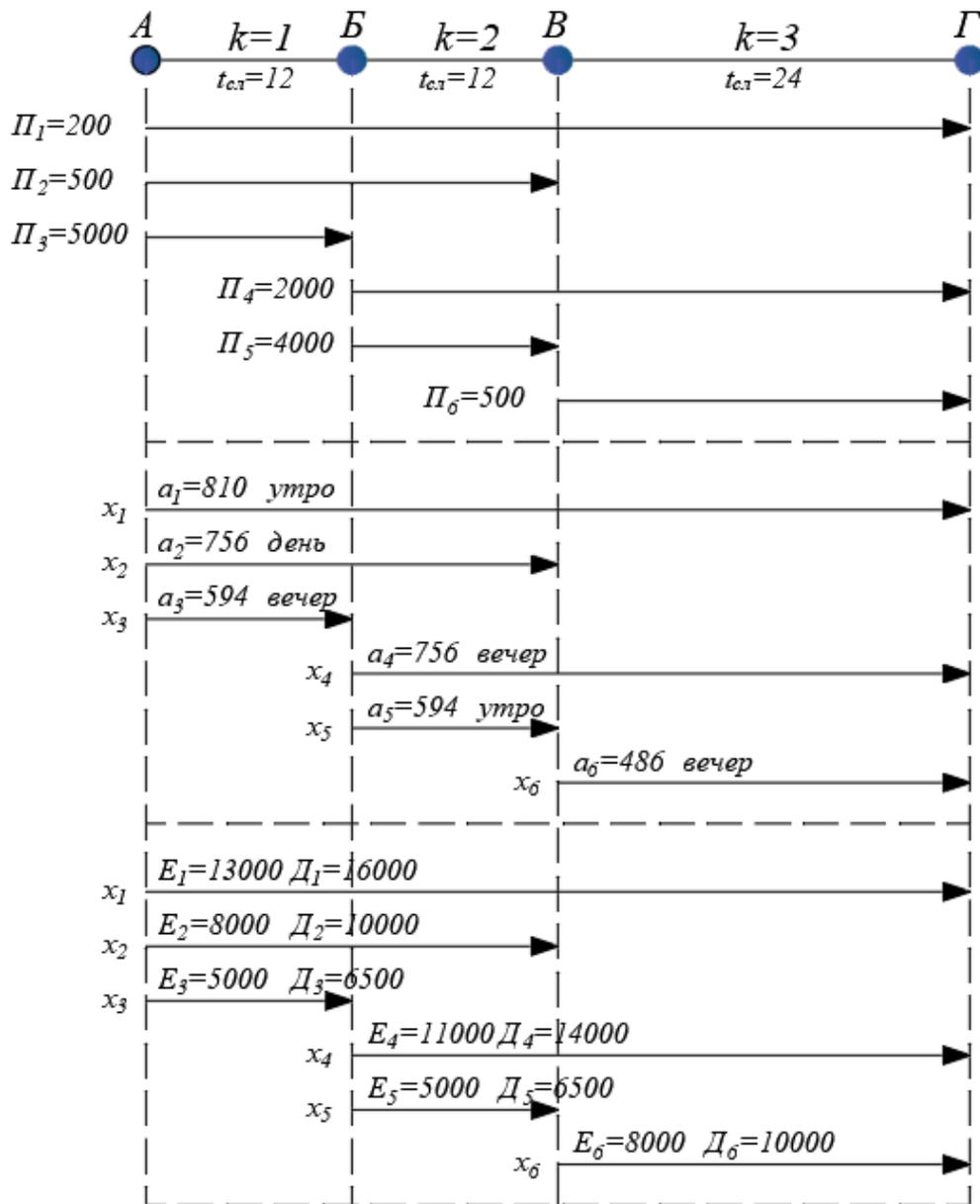


Рисунок 2.12 – Расчетный участок железной дороги с доходной составляющей (D) по поездам всех назначений

Распределение пассажиропотоков по поездам без учета мнений пассажиров по выбору поездов (пример 2.3) и с учетом мнений пассажиров по выбору поездов (пример 2.4) представлены в таблицах 2.12 и 2.13.

Таблица 2.12 – Распределение пассажиропотоков без учета мнений пассажиров по выбору поездов (пример 2.3)

Поездное назначение	Число поездов	<i>Пассажиропоток</i>					
		<i>А-Г</i>	<i>А-В</i>	<i>А-Б</i>	<i>Б-Г</i>	<i>Б-В</i>	<i>В-Г</i>
<i>x₁</i>	4	200	282	2758	2000	740	500
<i>x₂</i>	4	-	218	2242	-	2666	-
<i>x₃</i>	0	-	-	-	-	-	-
<i>x₄</i>	0	-	-	-	-	-	-
<i>x₅</i>	1	-	-	-	-	594	-
<i>x₆</i>	0	-	-	-	-	-	-
% учета мнений		100 (200/200)	100 (500/500)	24 (1220/5000)	100 (2000/2000)	51 (2050/4000)	72 (362/500)

Таблица 2.13 – Распределение пассажиропотоков с учетом мнений пассажиров по выбору поездов (пример 2.4)

Поездное назначение	Число поездов	<i>Пассажиропоток</i>					
		<i>А-Г</i>	<i>А-В</i>	<i>А-Б</i>	<i>Б-Г</i>	<i>Б-В</i>	<i>В-Г</i>
<i>x₁</i>	4	200	282	2758	1000	2178	62
<i>x₂</i>	2	-	218	1054	-	716	-
<i>x₃</i>	2	-	-	1188	-	-	-
<i>x₄</i>	2	-	-	-	1000	512	438
<i>x₅</i>	1	-	-	-	-	594	-
<i>x₆</i>	0	-	-	-	-	-	-
% учета мнений		100 (200/200)	100 (500/500)	55 (2408/5000)	100 (2000/2000)	100 (4000/4000)	72 (362/500)

С учетом оттока части пассажиропотока на альтернативные виды транспорта доход от перевозок сократится и прибыль уменьшится. При определении необходимого количества поездов с учетом предпочтений пассажиров по выбору поездов 77,62% пассажиров будут следовать в поездах,

согласно своим предпочтениям. Напротив, при определении необходимого количества поездов без учета предпочтений пассажиров по выбору поездов только 51,9% пассажиров будут следовать в поездах согласно своим предпочтениям.

Неудовлетворённость пассажиров установленным поездам скажется на спросе железнодорожного транспорта и выборе наименее предпочтительного поезда или повлечет за собой переход части пассажиропотока на другие виды транспорта. Количество такого пассажиропотока определяется по формуле:

$$\Pi^* = \Pi_j \times (1 - k_{от}), \quad (2.33)$$

где Π_j – пассажиропоток j -го поездного назначения;

$k_{от}$ – коэффициент оттока пассажиропотока на другие виды транспорта, $k_{от} = 0,1 - 0,7$ [84].

Зависимость прибыли перевозчика от коэффициента оттока пассажиропотока на другие виды транспорта представлена на рисунке 2.13.

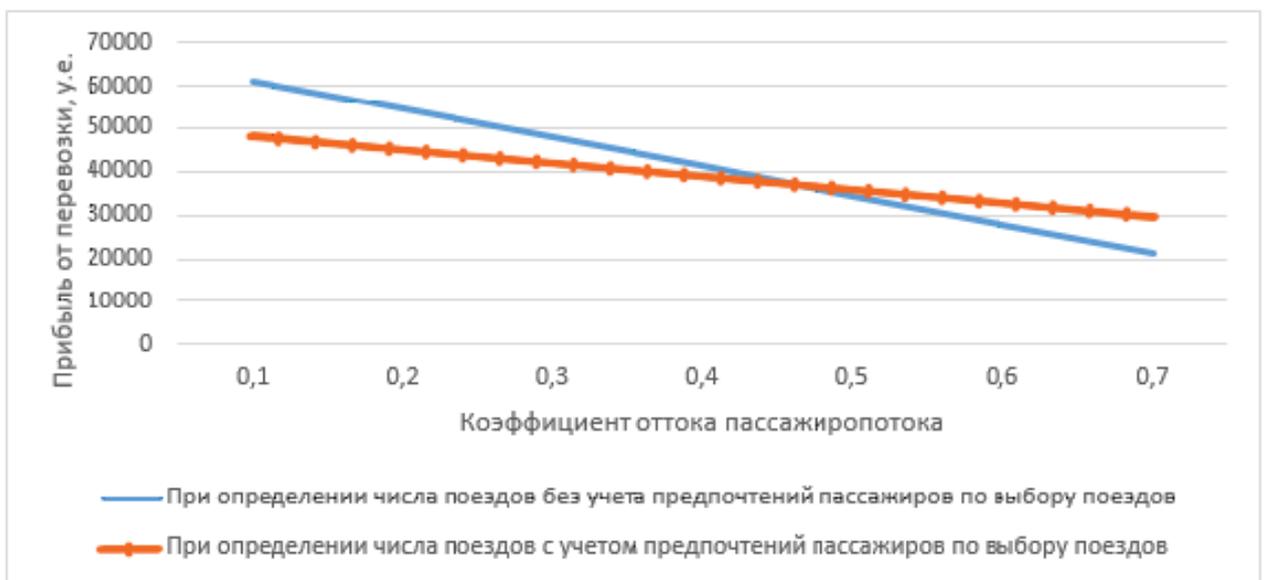


Рисунок 2.13 – Зависимость прибыли перевозчика от коэффициента оттока пассажиропотока на другие виды транспорта

Таким образом, за счет учета предпочтений пассажиров по выбору поездов увеличилось число поездов на участке железной дороги и затраты на формирование этих поездов, но, с учетом оттока части пассажиропотока на другие виды транспорта из-за неудовлетворения расписанием движения поездов, сокращается доход от перевозки пассажиров. Наиболее выгодным станет вариант без учета предпочтений пассажиров по выбору поездов при оттоке не более 47% пассажиропотока на другие виды транспорта, а это маловероятно [84].

2.3 Математические модели расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования по факторам учета предпочтений пассажиров по выбору поездов

2.3.1 Математическая модель расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования для заданных составов поездов

В рамках увеличения доли железнодорожных пассажирских перевозок в общем объеме пассажирских перевозок компаниями-перевозчиками разработаны различные мероприятия, направленные на повышение комфорта пассажиров. Большое внимание уделяется обновлению подвижного состава и развитию программы лояльности для удовлетворения потребностей современного пассажира. Сегодня в развитии пассажирских перевозок лидирующее место занимают инновации. В цифровой формат переводятся сервисы для пассажиров, интеллектуальное управление производственными процессами.

Оснащенность подвижного состава, условия следования поездов и объем предоставляемых услуг непосредственно влияют на стоимость поездки пассажиров, что, в свою очередь, влияет и на структуру пассажиропотока. В

связи с этим математические модели расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования с учетом предпочтений пассажиров по выбору поездов должны учитывать следующие условия:

– распределения величины пассажиропотока по поездам, в состав которых входят вагоны наиболее предпочтительных типов для i -й корреспонденции пассажиропотока:

$$\Pi_{iq} = \sum_{j=1}^J \sum_{v=q-\alpha}^{q+\alpha'} \delta_{ijv} y_{ijqv}, \quad \forall i; \forall q, \quad (2.34)$$

где Π_{iq} – число пассажиров i -й корреспонденции пассажиропотока, для которых вагоны q -го типа являются предпочтительными;

y_{ijqv} – число пассажиров i -й корреспонденции пассажиропотока, следующих в поездах j -го назначения, для которых вагоны q -го типа считаются предпочтительными, но следующих в вагонах v -го типа в связи с отсутствием мест в вагонах q -го типа;

$$\delta_{ijv} = \begin{cases} 1, & \text{если маршрут } i\text{-й корреспонденции пассажиропотока входит} \\ & \text{в маршрут } j\text{-го назначения, а в его составе есть вагоны } v\text{-го типа;} \\ 0, & \text{в ином случае.} \end{cases}$$

Следует принять во внимание, что не всегда пассажир способен приобрести билет в вагонах v -го типа, так как он может не соответствовать его требованиям. В связи с этим вводится ограничение:

$$(q - \alpha \leq v \leq q + \alpha'), \quad (2.35)$$

α и α' определяется для каждого полигона отдельно по причине индивидуальных условий эксплуатации.

– обеспечения потребности пассажиров на места в вагонах разных типов:

$$\sum_{j=1}^J y_{ijqq} \geq \omega_i \Pi_{iq}, \quad \forall i; \forall q, \quad (2.36)$$

где ω_i – коэффициент, определяющий заданный уровень обеспечения спроса для i -го пассажиропотока, $\omega_i = 0-1$.

– обеспечения требуемого количества мест в составах поездов для пассажиров, следующих в вагонах, которые не являются для них предпочтительными:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{q=1}^Q \delta_{ijk} y_{ijqv} \leq \delta_{jk} m_{jv} a_v x_j, \quad \forall j, v, k, \quad (2.37)$$

где m_{jv} – количество вагонов v -го типа в составе поезда j -го назначения;

a_v – количество мест в вагоне v -го типа;

Q – общее количество категорий вагонов.

Критерием для выбора оптимального варианта маршрутов пассажирских поездов дальнего следования принимается разница между доходом (выручка от продажи билетов на поезда) и эксплуатационными расходами.

Целевая функция будет иметь вид:

$$F = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^b \sum_{v=1}^Q \sum_{q=1}^Q D_{iv} y_{ijqv} - \sum_{j=1}^b E_j x_j \rightarrow \max, \quad (2.38)$$

где D_{iv} – стоимость проезда пассажира i -й корреспонденции пассажиропотока в вагоне v -го типа;

$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^b \sum_{v=1}^Q \sum_{q=1}^Q D_{iv} y_{ijqv}$ – выручка от продажи билетов на поезда;

$\sum E_j x_j$ – эксплуатационные расходы [58].

Пример 2.5

Определим маршрутную сеть пассажирских поездов при распределении пассажиропотоков по типам мест при заданных схемах составов поездов с учетом предпочтений пассажиров по выбору поездов. Условные обозначения типов вагонов следующие: *плацкарт (П)* – 1; *люкс (Л)* – 2; *купе (К)* – 3. q – предпочтительный тип вагона, v – фактический тип вагона. Вместимость вагонов следующая: $a_1=54$, $a_2=18$, $a_3=36$. Коэффициент, определяющий заданный уровень обеспечения спроса для всех пассажиропотоков $\omega_j = \omega = 0,5$. Исходные данные представлены на рисунке 2.14.

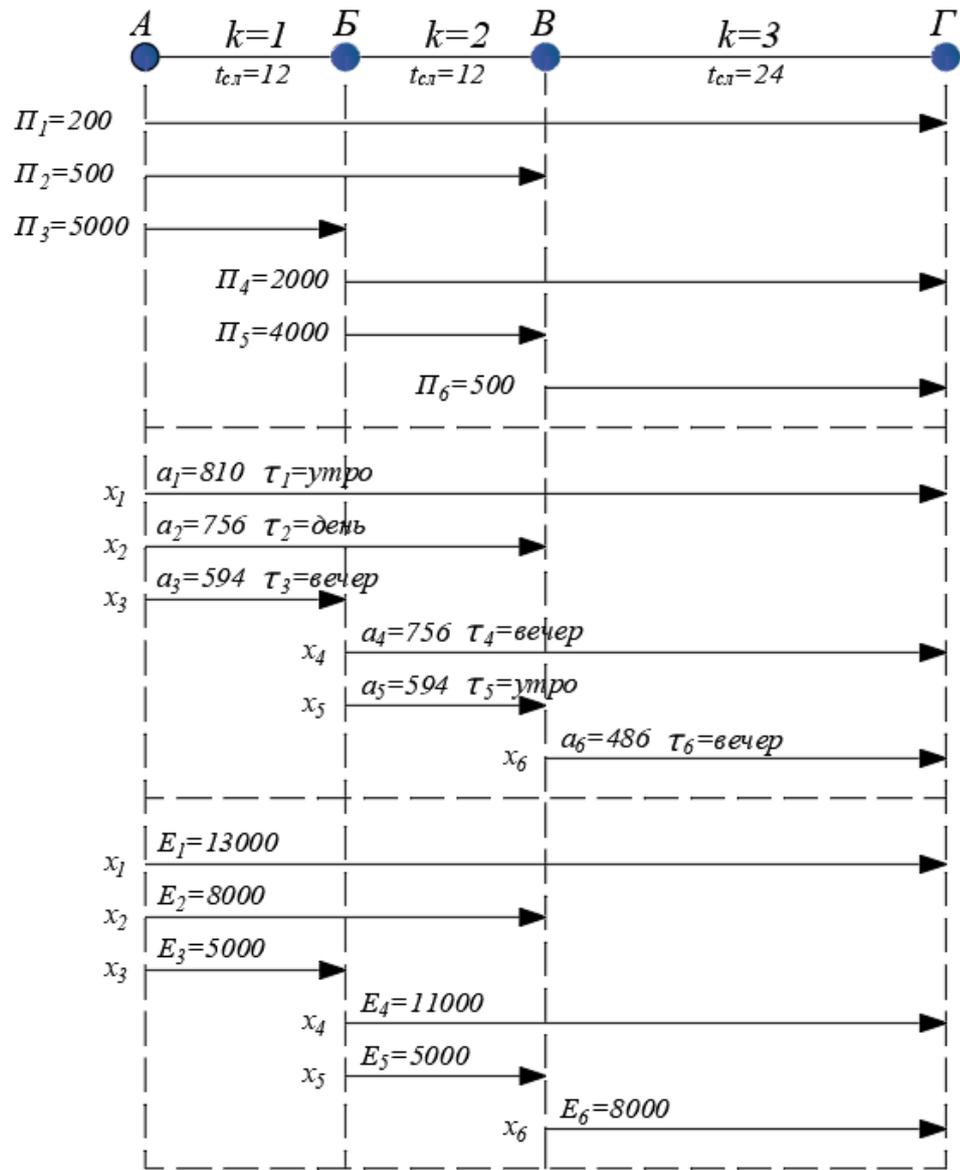


Рисунок 2.14 – Расчетный участок железной дороги

Пассажиропотоки сегментированы следующим образом (*пасс./сут.*):

$$\Pi_1: \Pi_{11} = 140; \Pi_{12} = 10; \Pi_{13} = 50;$$

$$\Pi_2: \Pi_{21} = 290; \Pi_{22} = 10; \Pi_{23} = 200;$$

$$\Pi_3: \Pi_{31} = 2500; \Pi_{32} = 100; \Pi_{33} = 2400;$$

$$\Pi_4: \Pi_{41} = 1000; \Pi_{42} = 50; \Pi_{43} = 950;$$

$$\Pi_5: \Pi_{51} = 2200; \Pi_{52} = 20; \Pi_{53} = 1780;$$

$$\Pi_6: \Pi_{61} = 240; \Pi_{62} = 10; \Pi_{63} = 250.$$

Стоимости проезда пассажира i -й струи по категориям мест будут следующие (*у.е.*):

для Π_1 : $D_{11}=14$; $D_{12}=35.31$; $D_{13}=27$;

для Π_2 : $D_{21}=10$; $D_{22}=35.96$; $D_{23}=16.1$;

для Π_3 : $D_{31}=5.8$; $D_{32}=19.11$; $D_{33}=12$;

для Π_4 : $D_{41}=15$; $D_{42}=32.9$; $D_{43}=22$;

для Π_5 : $D_{51}=5.8$; $D_{52}=19.11$; $D_{53}=12$;

для Π_6 : $D_{61}=15.5$; $D_{62}=41.52$; $D_{63}=24$.

Составы поездов будут равны (*ваг.*):

x_1 : $m_{11}=10$; $m_{12}=1$; $m_{13}=7$;

x_2 : $m_{21}=8$; $m_{22}=2$; $m_{23}=8$;

x_3 : $m_{31}=7$; $m_{32}=2$; $m_{33}=5$;

x_4 : $m_{41}=8$; $m_{42}=2$; $m_{43}=8$;

x_5 : $m_{51}=7$; $m_{52}=2$; $m_{53}=5$;

x_6 : $m_{61}=5$; $m_{62}=2$; $m_{63}=5$.

Решение:

Обозначим ограничения для рассматриваемого примера:

– условие обеспечения беспересадочного сообщения пассажиров (2.26):

для плацкартных вагонов:

$$140 = y_{1111} + y_{1112} + y_{1113};$$

$$290 = y_{2111} + y_{2211} + y_{2112} + y_{2212} + y_{2113} + y_{2213};$$

$$2500 = y_{3111} + y_{3211} + y_{3311} + y_{3112} + y_{3212} + y_{3312} + y_{3113} + y_{3213} + y_{3313};$$

$$1000 = y_{4111} + y_{4411} + y_{4112} + y_{4412} + y_{4113} + y_{4413};$$

$$2200 = y_{5111} + y_{5211} + y_{5411} + y_{5511} + y_{5112} + y_{5212} + y_{5412} + y_{5512} + y_{5113} + y_{5213} + y_{5413} + y_{5513};$$

$$240 = y_{6111} + y_{6411} + y_{6611} + y_{6112} + y_{6412} + y_{6612} + y_{6113} + y_{6413} + y_{6613}.$$

для вагонов класса «Люкс»:

$$10 = y_{1121} + y_{1122} + y_{1123};$$

$$10 = y_{2121} + y_{2221} + y_{2122} + y_{2222} + y_{2123} + y_{2223};$$

$$100 = y_{3121} + y_{3221} + y_{3321} + y_{3122} + y_{3222} + y_{3322} + y_{3123} + y_{3223} + y_{3323};$$

$$50 = y_{4121} + y_{4421} + y_{4122} + y_{4422} + y_{4123} + y_{4423};$$

$$20 = y_{5121} + y_{5221} + y_{5421} + y_{5521} + y_{5122} + y_{5222} + y_{5422} + y_{5522} + y_{5123} + y_{5223} + y_{5423} + y_{5523};$$

$$10 = y_{6121} + y_{6421} + y_{6621} + y_{6122} + y_{6422} + y_{6622} + y_{6123} + y_{6423} + y_{6623}.$$

для вагонов купе:

$$50 = y_{1131} + y_{1132} + y_{1133};$$

$$200 = y_{2131} + y_{2231} + y_{2132} + y_{2232} + y_{2133} + y_{2233};$$

$$2400 = y_{3131} + y_{3231} + y_{3331} + y_{3132} + y_{3232} + y_{3332} + y_{3133} + y_{3233} + y_{3333};$$

$$950 = y_{4131} + y_{4431} + y_{4132} + y_{4432} + y_{4133} + y_{4433};$$

$$1780 = y_{5131} + y_{5231} + y_{5431} + y_{5531} + y_{5132} + y_{5232} + y_{5432} + y_{5532} + y_{5133} + y_{5233} + y_{5433} + y_{5533};$$

$$250 = y_{6131} + y_{6431} + y_{6631} + y_{6132} + y_{6432} + y_{6632} + y_{6133} + y_{6433} + y_{6633}.$$

– условие обеспечения потребности пассажиров на места в вагонах разных типов (2.36):

для плацкартных вагонов:

$$140 \cdot 0,5 \leq y_{1111};$$

$$290 \cdot 0,5 \leq y_{2111} + y_{2211};$$

$$2500 \cdot 0,5 \leq y_{3111} + y_{3211} + y_{3311};$$

$$1000 \cdot 0,5 \leq y_{4111} + y_{4411};$$

$$2200 \cdot 0,5 \leq y_{5111} + y_{5211} + y_{5411} + y_{5511};$$

$$240 \cdot 0,5 \leq y_{6111} + y_{6411} + y_{6611}.$$

для вагонов класса «Люкс»:

$$10 \cdot 0,5 \leq y_{1122};$$

$$10 \cdot 0,5 \leq y_{2122} + y_{2222};$$

$$100 \cdot 0,5 \leq y_{3122} + y_{3222} + y_{3322};$$

$$50 \cdot 0,5 \leq y_{4122} + y_{4422};$$

$$20 \cdot 0,5 \leq y_{5122} + y_{5222} + y_{5422} + y_{5522};$$

$$10 \cdot 0,5 \leq y_{6122} + y_{6422} + y_{6622}.$$

для вагонов купе:

$$50 \cdot 0,5 \leq y_{1133};$$

$$200 \cdot 0,5 \leq y_{2133} + y_{2233};$$

$$2400 \cdot 0,5 \leq y_{3133} + y_{3233} + y_{3333};$$

$$950 \cdot 0,5 \leq y_{4133} + y_{4433};$$

$$1780 \cdot 0,5 \leq y_{5133} + y_{5233} + y_{5433} + y_{5533};$$

$$250 \cdot 0,5 \leq y_{6133} + y_{6433} + y_{6633};$$

– обеспечения потребного количества мест в составах поездов для пассажиров (2.37):

для категории вагонов плацкарт:

$$k = 1, j = 1: 10 \cdot 54 \cdot x_1 \geq y_{1111} + y_{2111} + y_{3111} + y_{1121} + y_{2121} + y_{3121} + y_{1131} + y_{2131} + y_{3131};$$

$$k = 2, j = 1: 10 \cdot 54 \cdot x_1 \geq y_{1111} + y_{2111} + y_{4111} + y_{5111} + y_{1121} + y_{2121} + y_{4121} + y_{5121} + y_{1131} + y_{2131} + y_{4131} + y_{5131};$$

$$k = 3, j = 1: 10 \cdot 54 \cdot x_1 \geq y_{1111} + y_{4111} + y_{6111} + y_{1121} + y_{4121} + y_{6121} + y_{1131} + y_{4131} + y_{6131};$$

$$k = 1, j = 2: 8 \cdot 54 \cdot x_2 \geq y_{2211} + y_{3211} + y_{2221} + y_{3221} + y_{2231} + y_{3231};$$

$$k = 2, j = 2: 8 \cdot 54 \cdot x_2 \geq y_{2211} + y_{5211} + y_{2221} + y_{5221} + y_{2231} + y_{5231};$$

$$k = 1, j = 3: 7 \cdot 54 \cdot x_3 \geq y_{3311} + y_{3321} + y_{3331};$$

$$k = 2, j = 4: 8 \cdot 54 \cdot x_4 \geq y_{4411} + y_{5411} + y_{4421} + y_{5421} + y_{4431} + y_{5431};$$

$$k = 3, j = 4: 8 \cdot 54 \cdot x_4 \geq y_{4411} + y_{6411} + y_{4421} + y_{6421} + y_{4431} + y_{6431};$$

$$k = 2, j = 5: 7 \cdot 54 \cdot x_5 \geq y_{5511} + y_{5521} + y_{5531};$$

$$k = 3, j = 6: 5 \cdot 54 \cdot x_6 \geq y_{6611} + y_{6621} + y_{6631};$$

для категории вагонов «Люкс»:

$$k = 1, j = 1: 1 \cdot 18 \cdot x_1 \geq y_{1112} + y_{2112} + y_{3112} + y_{1122} + y_{2122} + y_{3122} + y_{1132} + y_{2132} + y_{3132};$$

$$k = 2, j = 1: 1 \cdot 18 \cdot x_1 \geq y_{1112} + y_{2112} + y_{4112} + y_{5112} + y_{1122} + y_{2122} + y_{4122} + y_{5122} + y_{1132} + y_{2132} + y_{4132} + y_{5132};$$

$$k = 3, j = 1: 1 \cdot 18 \cdot x_1 \geq y_{1112} + y_{4112} + y_{6112} + y_{1122} + y_{4122} + y_{6122} + y_{1132} + y_{4132} + y_{6132};$$

$$k = 1, j = 2: 2 \cdot 18 \cdot x_2 \geq y_{2212} + y_{3212} + y_{2222} + y_{3222} + y_{2232} + y_{3232};$$

$$k = 2, j = 2: 2 \cdot 18 \cdot x_2 \geq y_{2212} + y_{5212} + y_{2222} + y_{5222} + y_{2232} + y_{5232};$$

$$k = 1, j = 3: 2 \cdot 18 \cdot x_3 \geq y_{3312} + y_{3322} + y_{3332};$$

$$k = 2, j = 4: 2 \cdot 18 \cdot x_4 \geq y_{4412} + y_{5412} + y_{4422} + y_{5422} + y_{4432} + y_{5432};$$

$$k = 3, j = 4: 2 \cdot 18 \cdot x_4 \geq y_{4412} + y_{6412} + y_{4422} + y_{6422} + y_{4432} + y_{6432};$$

$$k = 2, j = 5: 2 \cdot 18 \cdot x_5 \geq y_{5512} + y_{5522} + y_{5532};$$

$$k = 3, j = 6: 2 \cdot 18 \cdot x_6 \geq y_{6612} + y_{6622} + y_{6632}.$$

для категории вагонов купе:

$$k = 1, j = 1: 7 \cdot 36 \cdot x_1 \geq y_{1113} + y_{2113} + y_{3113} + y_{1123} + y_{2123} + y_{3123} + y_{1133} + y_{2133} + y_{3133};$$

$$k = 2, j = 1: 7 \cdot 36 \cdot x_1 \geq y_{1113} + y_{2113} + y_{4113} + y_{5113} + y_{1123} + y_{2123} + y_{4123} + y_{5123} + y_{1133} + y_{2133} + y_{4133} + y_{5133};$$

$$k = 3, j = 1: 7 \cdot 36 \cdot x_1 \geq y_{1113} + y_{4113} + y_{6113} + y_{1123} + y_{4123} + y_{6123} + y_{1133} + y_{4133} + y_{6133};$$

$$k = 1, j = 2: 8 \cdot 36 \cdot x_2 \geq y_{2213} + y_{3213} + y_{2223} + y_{3223} + y_{2233} + y_{3233};$$

$$k = 2, j = 2: 8 \cdot 36 \cdot x_2 \geq y_{2213} + y_{5213} + y_{2223} + y_{5223} + y_{2233} + y_{5233};$$

$$k = 1, j = 3: 5 \cdot 36 \cdot x_3 \geq y_{3313} + y_{3323} + y_{3333};$$

$$k = 2, j = 4: 8 \cdot 36 \cdot x_4 \geq y_{4413} + y_{5413} + y_{4423} + y_{5423} + y_{4433} + y_{5433};$$

$$k = 3, j = 4: 8 \cdot 36 \cdot x_4 \geq y_{4413} + y_{6413} + y_{4423} + y_{6423} + y_{4433} + y_{6433};$$

$$k = 2, j = 5: 5 \cdot 36 \cdot x_5 \geq y_{5513} + y_{5523} + y_{5533};$$

$$k = 3, j = 6: 5 \cdot 36 \cdot x_6 \geq y_{6613} + y_{6623} + y_{6633}.$$

– условие учета предпочтений пассажиров по выбору поездов (2.25):

$$x_1 \leq 0.40 \chi;$$

$$x_2 \leq 0.19 \chi;$$

$$x_3 \leq 0.20 \chi;$$

$$x_4 \leq 0.20 \chi;$$

$$x_5 \leq 0.10 \chi;$$

$$x_6 \leq 0.01 \chi.$$

Целевая функция (2.38) составит:

$$F = 14(y_{1111} + y_{1121} + y_{1131}) + 35.31(y_{1112} + y_{1122} + y_{1132}) + 27(y_{1113} + y_{1123} + y_{1133}) + 10(y_{2111} + y_{2211} + y_{2121} + y_{2221} + y_{2131} + y_{2231}) + 35.96(y_{2112} + y_{2212} + y_{2122} + y_{2222} + y_{2132} + y_{2232}) + 16.1(y_{2113} + y_{2213} + y_{2123} + y_{2223} + y_{2133} + y_{2233}) + 5.8(y_{3111} + y_{3211} + y_{3311} + y_{3121} + y_{3221} + y_{3321} + y_{3131} + y_{3231} + y_{3331}) + 19.11(y_{3112} + y_{3212} + y_{3312} + y_{3122} + y_{3222} + y_{3322} + y_{3132} + y_{3232} + y_{3332}) + 12(y_{3113} + y_{3213} + y_{3313} + y_{3123} + y_{3223} + y_{3323} + y_{3133} + y_{3233} + y_{3333}) + 15(y_{4111} + y_{4411} + y_{4121} + y_{4421} + y_{4131} + y_{4431}) +$$

$$\begin{aligned}
& +32.9(y_{4112} + y_{4412} + y_{4122} + y_{4422} + y_{4132} + y_{4432}) + 22(y_{4113} + y_{4413} + y_{4123} + y_{4423} + \\
& + y_{4133} + y_{4433}) + 5.8(y_{5111} + y_{5211} + y_{5411} + y_{5511} + y_{5121} + y_{5221} + y_{5421} + y_{5521} + y_{5131} + \\
& + y_{5231} + y_{5431} + y_{5531}) + 19.11(y_{5112} + y_{5212} + y_{5412} + y_{5512} + y_{5122} + y_{5222} + y_{5422} + y_{5522} + \\
& + y_{5132} + y_{5232} + y_{5432} + y_{5532}) + 12(y_{5113} + y_{5213} + y_{5413} + y_{5513} + y_{5123} + y_{5223} + y_{5423} + \\
& + y_{5523} + y_{5133} + y_{5233} + y_{5433} + y_{5533}) + 15.5(y_{6111} + y_{6411} + y_{6611} + y_{6121} + y_{6421} + y_{6621} + \\
& + y_{6131} + y_{6431} + y_{6631}) + 41.52(y_{6112} + y_{6412} + y_{6612} + y_{6122} + y_{6422} + y_{6622} + y_{6132} + y_{6432} + \\
& + y_{6632}) + 24(y_{6113} + y_{6413} + y_{6613} + y_{6123} + y_{6423} + y_{6623} + y_{6133} + y_{6433} + y_{6633}) - 13000x_1 - \\
& - 8000x_2 - 5000x_3 - 11000x_4 - 5000x_5 - 8000x_6 \rightarrow \max.
\end{aligned}$$

Расчет выполнен с помощью программного продукта LPSolve IDE 5.5.2.0.

Коэффициенты использования вместимости (n_j) по поездным назначениям при сегментированных пассажиропотоках n_j будут рассчитываться по формуле:

$$n_j = \sum_{k=1}^K \sum_{v=1}^Q \frac{N_{jvk}}{K_j a_{jv} m_{jv}}, \quad \forall j. \quad (2.39)$$

При этом:

$$N_{jvk} = \sum_{i=1}^I \sum_{q=1}^Q \frac{\delta_{ijk} y_{ijqv}}{x_j}, \quad \forall j; \forall k; \forall v, \quad (2.40)$$

где N_{jvk} – средняя населенность вагонов v -го типа в составе поезде j -го назначения на k -ом участке.

Результаты решения задачи представлены в таблице 2.14.

Значение целевой функции (F) составляет 31271, 46 условных единиц.

Показатели использования вместимости поездов по категориям вагонов представлены на рисунках 2.15–2.17.

Таблица 2.14 – Распределение пассажиропотоков по назначениям (пример 2.5)

Поездные назначения		$x_1 = 4$			$x_2 = 2$			$x_3 = 2$			$x_4 = 2$			$x_5 = 1$			$x_6 = 0$		
		П=10	Л=1	К=7	П=8	Л=2	К=8	П=7	Л=2	К=5	П=8	Л=2	К=8	П=7	Л=2	К=5	П=5	Л=2	К=5
П ₁ =200	П=140	140	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Л=10	5	5	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=50	25	0	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
П ₂ =500	П=290	290	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Л=10	5	0	0	0	5	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=200	100	0	100	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
П ₃ =5000	П=2500	447	25	495	864	67	0	538	64	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Л=100	50	42	0	0	0	0	0	8	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=2400	1010	0	388	0	0	576	66	0	360	-	-	-	-	-	-	-	-	-
П ₄ =2000	П=1000	0	0	0	-	-	-	-	-	-	657	0	343	-	-	-	-	-	-
	Л=50	25	0	0	-	-	-	-	-	-	0	25	0	-	-	-	-	-	-
	К=950	0	0	717	-	-	-	-	-	-	0	0	233	-	-	-	-	-	-
П ₅ =4000	П=2200	522	67	32	864	67	0	-	-	-	197	47	0	378	26	0	-	-	-
	Л=20	0	0	0	0	0	0	-	-	-	10	0	0	0	10	0	-	-	-
	К=1780	890	0	134	0	0	576	-	-	-	0	0	0	0	0	180	-	-	-
П ₆ =500	П=240	120	67	16	-	-	-	-	-	-	0	37	0	-	-	-	-	-	-
	Л=10	0	0	0	-	-	-	-	-	-	0	10	0	-	-	-	-	-	-
	К=250	0	0	250	-	-	-	-	-	-	0	0	0	-	-	-	-	-	-

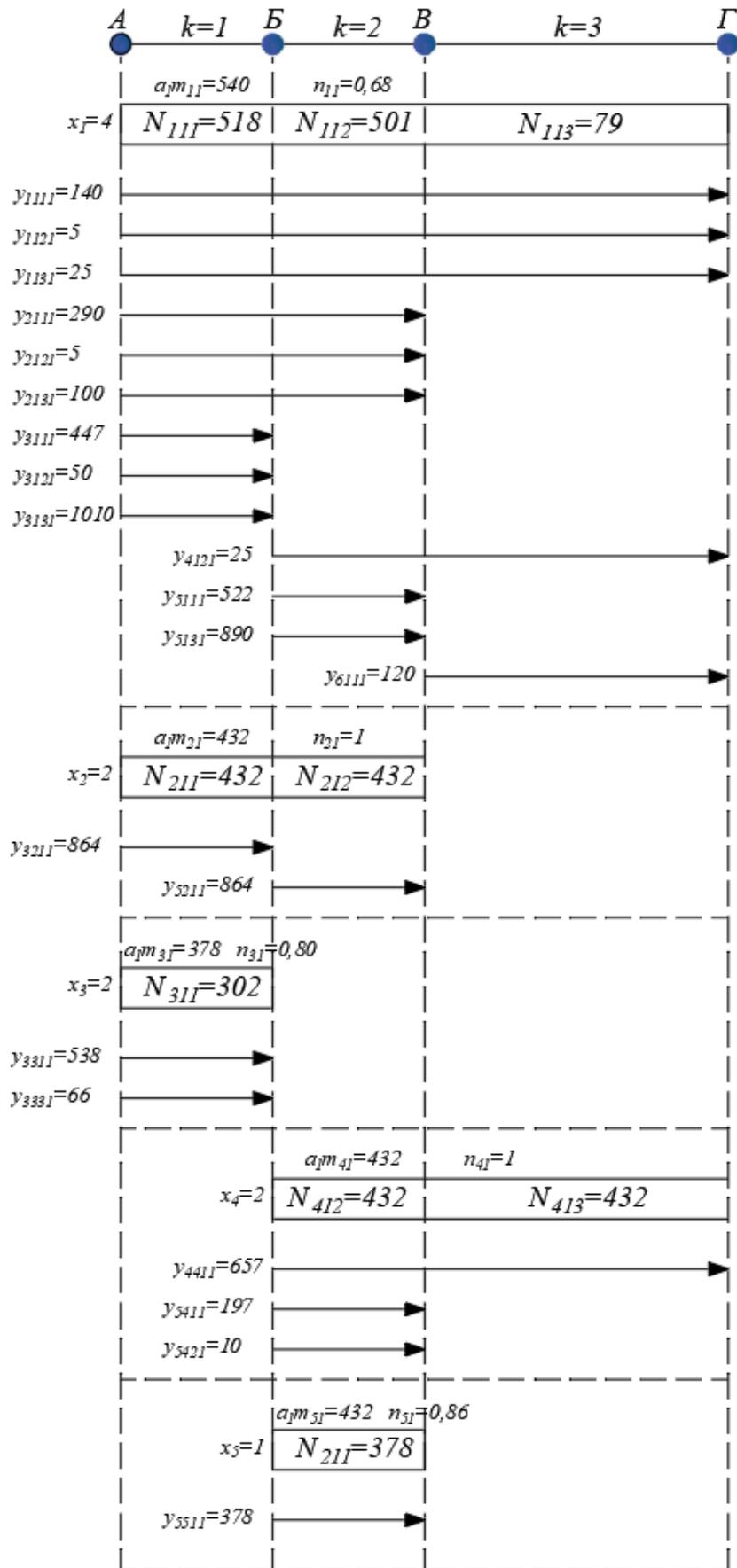


Рисунок 2.15 – Показатели использования вместимости плацкартных вагонов на расчетном участке следования пассажирских поездов

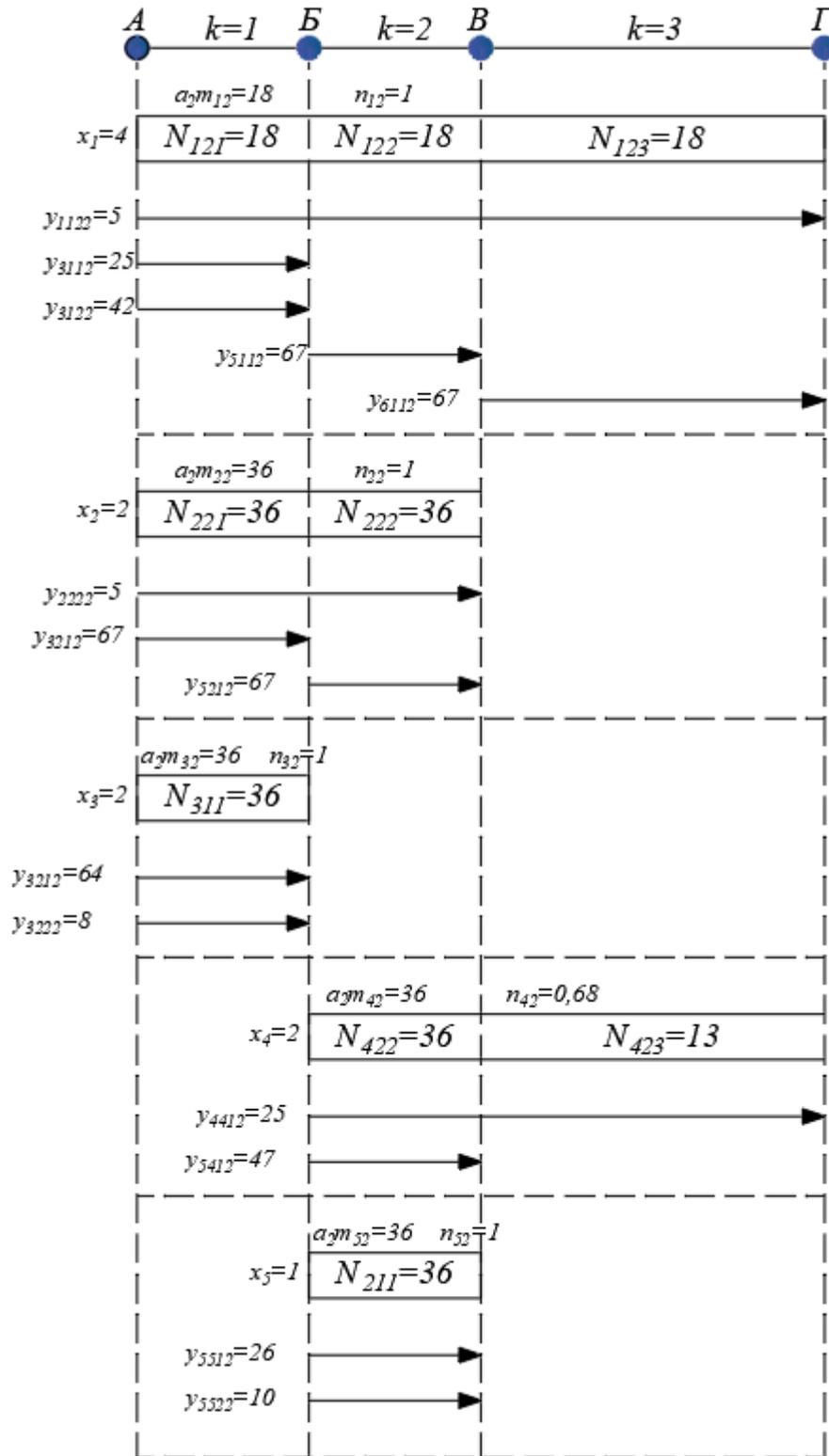


Рисунок 2.16 – Показатели использования вместимости вагонов класса «Люкс» на расчетном участке следования пассажирских поездов

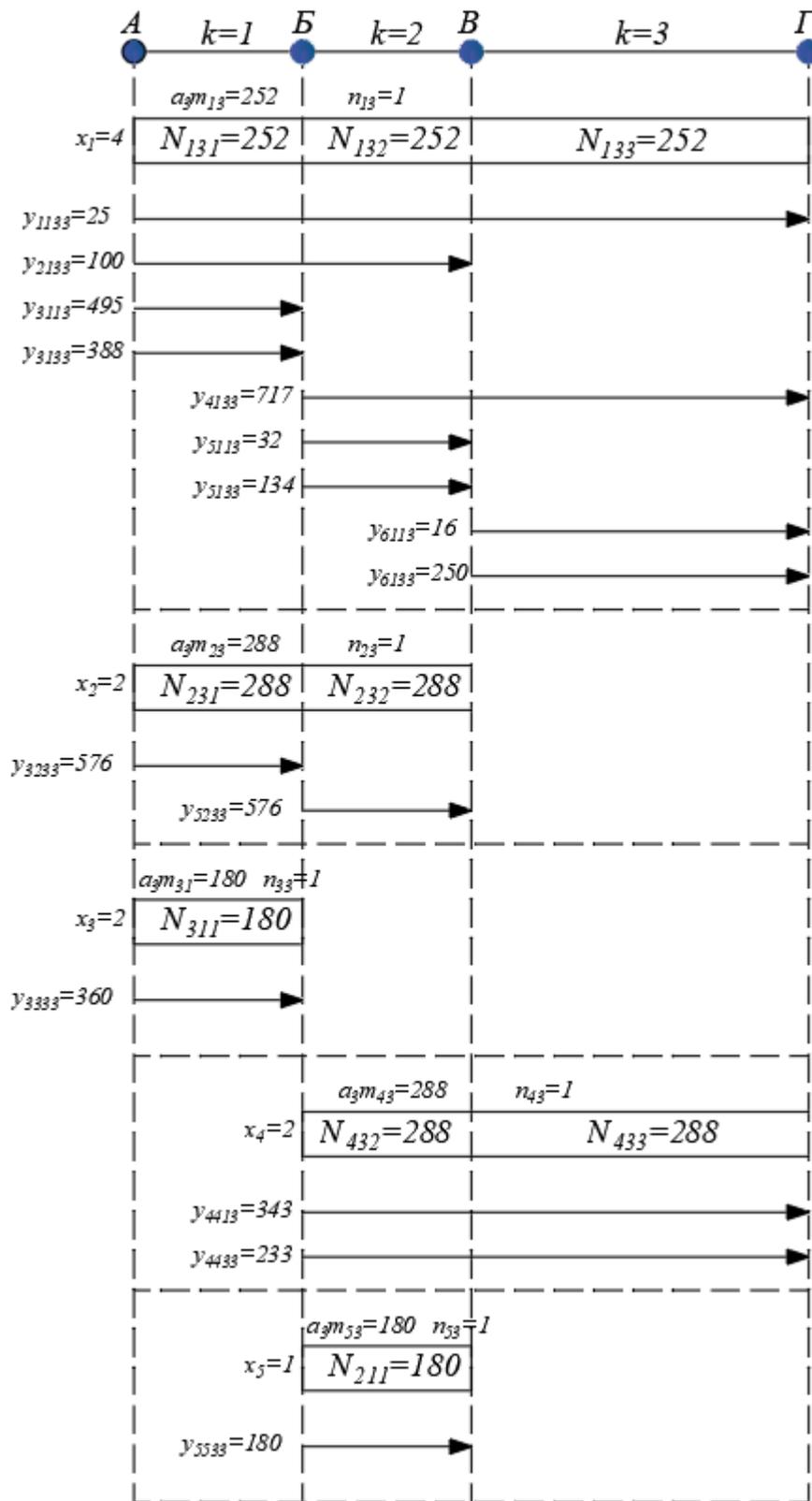


Рисунок 2.17 – Показатели использования вместимости купейных вагонов на расчетном участке следования пассажирских поездов

Из рисунков (2.15–2.17) видно, что вагоны класса «Люкс» заполнены во всех поездах на максимум, а плацкартные и купейные вагоны для некоторых назначений заполнены на 68%. В связи с этим можно сделать вывод, что схемы составов в пассажирских поездах сформированы не в соответствии со структурой пассажиропотока.

2.3.2 Математическая модель расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования и определения схем составов поездов

Математическая модель расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования и определения схем составов поездов является модифицированной математической моделью расчета плана формирования пассажирских поездов, предложенной М.Ю. Савельевым в своей работе [78]. Ввод дополнительного ограничения (условие учета предпочтений пассажиров по выбору поездов) в предложенную математическую модель М.Ю. Савельева позволит получить абсолютно новый результат исследования, направленный на повышение уровня удовлетворения спроса пассажиров на перевозки.

Расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования при заданных схемах составов поездов требует установление следующих дополнительных условий:

– освоения пассажиропотоков для участка расчетной сети:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{q=1}^Q \delta_{ijk} y_{ijqv} \leq \delta_{jk} a_v h_{jv}, \quad \forall j, v, k, \quad (2.41)$$

где h_{jv} – число вагонов v -го типа j -го поездного назначения.

Незаданные схемы составов пассажирских поездов требуют установление условия их определения, которое заключается в установке соответствия между максимально возможным количеством вагонов

определенного поездного назначения и общим количеством вагонов различных типов данного назначения:

$$(m_j^{max} - Q)x_j \geq \sum_{v=1}^Q h_{jv}, \quad \forall j, \quad (2.42)$$

где m_j^{max} – максимальное число вагонов в составе поезда j -го назначения;

$(m_j^{max} - Q)$ – максимальное число вагонов в составе поезда с учетом погрешности округления числа вагонов до целого.

Схема состава поезда определяется по формуле:

$$m_{jh} = \frac{h_{jv}}{x_j}; \quad \forall j; \forall v; m_{jv} \in Z. \quad (2.43)$$

Следует отметить, что, исходя из структуры пассажиропотока, коэффициент, определяющий заданный уровень обеспечения спроса (ω_j), для данной задачи, изменяется от 0,8 до 1, так как уменьшение данного коэффициента приведет к недостоверным результатам решения задачи.

Критерием для выбора оптимального варианта маршрутов пассажирских поездов дальнего следования принимается разница между выручкой от продажи билетов на поезда и эксплуатационными расходами, которые представлены составляющими: поездной ($C_j x_j$) и вагонной ($c_{jv} h_{jv}$).

Целевая функция будет иметь вид:

$$F = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{v=1}^Q \sum_{q=1}^Q D_{iv} y_{ijqv} - \sum_{j=1}^J C_j x_j - \sum_{j=1}^J \sum_{v=1}^Q c_{jv} h_{jv} \rightarrow \max, \quad (2.44)$$

где C_j – эксплуатационные расходы на поездную составляющую, приходящиеся на один поезд j -го назначения;

c_{jv} – эксплуатационные расходы на вагонную составляющую, приходящиеся на вагон v -го типа j -го назначения.

Пример 2.6

Определим маршрутную сеть пассажирских поездов при распределении пассажиропотоков по типам мест при заданных схемах составов поездов с

учетом предпочтений пассажиров по выбору поездов. Исходные данные взяты из примера 2.5. Максимальное количество вагонов в составе поезда $m_j^{max} = 18$ вагонов. Коэффициент, определяющий заданный уровень обеспечения спроса $\omega_j = 0,9$.

Затраты, приходящиеся на поездную составляющую по назначениям (у.е.):

$$C_1 = 6500;$$

$$C_2 = 4000;$$

$$C_3 = 2500;$$

$$C_4 = 5500;$$

$$C_5 = 2500;$$

$$C_6 = 4000.$$

Затраты, приходящиеся на вагонную составляющую (у.е.):

$$c_{11} = c_{12} = c_{13} = 390;$$

$$c_{21} = c_{22} = c_{23} = 230;$$

$$c_{31} = c_{32} = c_{33} = 150;$$

$$c_{41} = c_{42} = c_{43} = 300;$$

$$c_{51} = c_{52} = c_{53} = 150;$$

$$c_{61} = c_{62} = c_{63} = 230.$$

Решение:

Обозначим ограничения для рассматриваемого примера:

– условие обеспечения беспересадочного сообщения пассажиров сохраняет свой вид из примера 2.5.

– условие обеспечения потребности пассажиров на места в вагонах разных типов (2.36):

для плацкартных вагонов:

$$140 \cdot 0,9 \leq y_{1111};$$

$$290 \cdot 0,9 \leq y_{2111} + y_{2211};$$

$$2500 \cdot 0,9 \leq y_{3111} + y_{3211} + y_{3311};$$

$$1000 \cdot 0,9 \leq y_{4111} + y_{4411};$$

$$2200 \cdot 0,9 \leq y_{5111} + y_{5211} + y_{5411} + y_{5511};$$

$$240 \cdot 0,9 \leq y_{6111} + y_{6411} + y_{6611}.$$

для вагонов класса «Люкс»:

$$10 \cdot 0,9 \leq y_{1122};$$

$$10 \cdot 0,9 \leq y_{2122} + y_{2222};$$

$$100 \cdot 0,9 \leq y_{3122} + y_{3222} + y_{3322};$$

$$50 \cdot 0,9 \leq y_{4122} + y_{4422};$$

$$20 \cdot 0,9 \leq y_{5122} + y_{5222} + y_{5422} + y_{5522};$$

$$10 \cdot 0,9 \leq y_{6122} + y_{6422} + y_{6622}.$$

для вагонов купе:

$$50 \cdot 0,9 \leq y_{1133};$$

$$200 \cdot 0,9 \leq y_{2133} + y_{2233};$$

$$2400 \cdot 0,9 \leq y_{3133} + y_{3233} + y_{3333};$$

$$950 \cdot 0,9 \leq y_{4133} + y_{4433};$$

$$1780 \cdot 0,9 \leq y_{5133} + y_{5233} + y_{5433} + y_{5533};$$

$$250 \cdot 0,9 \leq y_{6133} + y_{6433} + y_{6633}.$$

– условие освоения пассажиропотоков для участка расчетной сети (2.41):

для категории вагонов плацкарт:

$$k = 1, j = 1: 54 \cdot h_{11} \geq y_{1111} + y_{2111} + y_{3111} + y_{1121} + y_{2121} + y_{3121} + y_{1131} + y_{2131} + y_{3131};$$

$$k = 2, j = 1: 54 \cdot h_{11} \geq y_{1111} + y_{2111} + y_{4111} + y_{5111} + y_{1121} + y_{2121} + y_{4121} + y_{5121} + y_{1131} + y_{2131} + y_{4131} + y_{5131};$$

$$k = 3, j = 1: 54 \cdot h_{11} \geq y_{1111} + y_{4111} + y_{6111} + y_{1121} + y_{4121} + y_{6121} + y_{1131} + y_{4131} + y_{6131};$$

$$k = 1, j = 2: 54 \cdot h_{21} \geq y_{2211} + y_{3211} + y_{2221} + y_{3221} + y_{2231} + y_{3231};$$

$$k = 2, j = 2: 54 \cdot h_{21} \geq y_{2211} + y_{5211} + y_{2221} + y_{5221} + y_{2231} + y_{5231};$$

$$k = 1, j = 3: 54 \cdot h_{31} \geq y_{3311} + y_{3321} + y_{3331};$$

$$k = 2, j = 4: 54 \cdot h_{41} \geq y_{4411} + y_{5411} + y_{4421} + y_{5421} + y_{4431} + y_{5431};$$

$$k = 3, j = 4: 54 \cdot h_{41} \geq y_{4411} + y_{6411} + y_{4421} + y_{6421} + y_{4431} + y_{6431};$$

$$k = 2, j = 5: 54 \cdot h_{51} \geq y_{5511} + y_{5521} + y_{5531};$$

$$k = 3, j = 6: 54 \cdot h_{61} \geq y_{6611} + y_{6621} + y_{6631}.$$

для категории вагонов «Люкс»:

$$k = 1, j = 1: 18 \cdot h_{12} \geq y_{1112} + y_{2112} + y_{3112} + y_{1122} + y_{2122} + y_{3122} + y_{1132} + y_{2132} + y_{3132};$$

$$k = 2, j = 1: 18 \cdot h_{12} \geq y_{1112} + y_{2112} + y_{4112} + y_{5112} + y_{1122} + y_{2122} + y_{4122} + y_{5122} + y_{1132} + y_{2132} + y_{4132} + y_{5132};$$

$$k = 3, j = 1: 18 \cdot h_{12} \geq y_{1112} + y_{4112} + y_{6112} + y_{1122} + y_{4122} + y_{6122} + y_{1132} + y_{4132} + y_{6132};$$

$$k = 1, j = 2: 18 \cdot h_{22} \geq y_{2212} + y_{3212} + y_{2222} + y_{3222} + y_{2232} + y_{3232};$$

$$k = 2, j = 2: 18 \cdot h_{22} \geq y_{2212} + y_{5212} + y_{2222} + y_{5222} + y_{2232} + y_{5232};$$

$$k = 1, j = 3: 18 \cdot h_{32} \geq y_{3312} + y_{3322} + y_{3332};$$

$$k = 2, j = 4: 18 \cdot h_{42} \geq y_{4412} + y_{5412} + y_{4422} + y_{5422} + y_{4432} + y_{5432};$$

$$k = 3, j = 4: 18 \cdot h_{42} \geq y_{4412} + y_{6412} + y_{4422} + y_{6422} + y_{4432} + y_{6432};$$

$$k = 2, j = 5: 18 \cdot h_{52} \geq y_{5512} + y_{5522} + y_{5532};$$

$$k = 3, j = 6: 18 \cdot h_{52} \geq y_{6612} + y_{6622} + y_{6632}.$$

для категории вагонов купе:

$$k = 1, j = 1: 36 \cdot h_{13} \geq y_{1113} + y_{2113} + y_{3113} + y_{1123} + y_{2123} + y_{3123} + y_{1133} + y_{2133} + y_{3133};$$

$$k = 2, j = 1: 36 \cdot h_{13} \geq y_{1113} + y_{2113} + y_{4113} + y_{5113} + y_{1123} + y_{2123} + y_{4123} + y_{5123} + y_{1133} + y_{2133} + y_{4133} + y_{5133};$$

$$k = 3, j = 1: 36 \cdot h_{13} \geq y_{1113} + y_{4113} + y_{6113} + y_{1123} + y_{4123} + y_{6123} + y_{1133} + y_{4133} + y_{6133};$$

$$k = 1, j = 2: 36 \cdot h_{23} \geq y_{2213} + y_{3213} + y_{2223} + y_{3223} + y_{2233} + y_{3233};$$

$$k = 2, j = 2: 36 \cdot h_{23} \geq y_{2213} + y_{5213} + y_{2223} + y_{5223} + y_{2233} + y_{5233};$$

$$k = 1, j = 3: 36 \cdot h_{33} \geq y_{3313} + y_{3323} + y_{3333};$$

$$k = 2, j = 4: 36 \cdot h_{43} \geq y_{4413} + y_{5413} + y_{4423} + y_{5423} + y_{4433} + y_{5433};$$

$$k = 3, j = 4: 36 \cdot h_{43} \geq y_{4413} + y_{6413} + y_{4423} + y_{6423} + y_{4433} + y_{6433};$$

$$k = 2, j = 5: 36 \cdot h_{53} \geq y_{5513} + y_{5523} + y_{5533};$$

$$k = 3, j = 6: 36 \cdot h_{63} \geq y_{6613} + y_{6623} + y_{6633}.$$

Условие определения схемы состава поезда (2.42):

$$18 x_1 \geq h_{11} + h_{12} + h_{13};$$

$$18 x_2 \geq h_{21} + h_{22} + h_{23};$$

$$18 x_3 \geq h_{31} + h_{32} + h_{33};$$

$$18 x_4 \geq h_{41} + h_{42} + h_{43};$$

$$18 x_5 \geq h_{51} + h_{52} + h_{53};$$

$$18 x_6 \geq h_{61} + h_{62} + h_{63}.$$

Целевая функция (2.44) составит:

$$\begin{aligned} F = & 14(y_{1111} + y_{1121} + y_{1131}) + 35.31(y_{1112} + y_{1122} + y_{1132}) + 27(y_{1113} + y_{1123} + \\ & + y_{1133}) + 10(y_{2111} + y_{2211} + y_{2121} + y_{2221} + y_{2131} + y_{2231}) + 35.96(y_{2112} + y_{2212} + y_{2122} + \\ & + y_{2222} + y_{2132} + y_{2232}) + 16.1(y_{2113} + y_{2213} + y_{2123} + y_{2223} + y_{2133} + y_{2233}) + 5.8(y_{3111} + \\ & + y_{3211} + y_{3311} + y_{3121} + y_{3221} + y_{3321} + y_{3131} + y_{3231} + y_{3331}) + 19.11(y_{3112} + y_{3212} + \\ & + y_{3312} + y_{3122} + y_{3222} + y_{3322} + y_{3132} + y_{3232} + y_{3332}) + 12(y_{3113} + y_{3213} + y_{3313} + y_{3123} + \\ & + y_{3223} + y_{3323} + y_{3133} + y_{3233} + y_{3333}) + 15(y_{4111} + y_{4411} + y_{4121} + y_{4421} + y_{4131} + y_{4431}) + \\ & + 32.9(y_{4112} + y_{4412} + y_{4122} + y_{4422} + y_{4132} + y_{4432}) + 22(y_{4113} + y_{4413} + y_{4123} + \\ & + y_{4423} + y_{4133} + y_{4433}) + 5.8(y_{5111} + y_{5211} + y_{5411} + y_{5511} + y_{5121} + y_{5221} + y_{5421} + y_{5521} + \\ & + y_{5131} + y_{5231} + y_{5431} + y_{5531}) + 19.11(y_{5112} + y_{5212} + y_{5412} + y_{5512} + y_{5122} + y_{5222} + y_{5422} + \\ & + y_{5522} + y_{5132} + y_{5232} + y_{5432} + y_{5532}) + 12(y_{5113} + y_{5213} + y_{5413} + y_{5513} + y_{5123} + y_{5223} + \\ & + y_{5423} + y_{5523} + y_{5133} + y_{5233} + y_{5433} + y_{5533}) + 15.5(y_{6111} + y_{6411} + y_{6611} + y_{6121} + y_{6421} + \\ & + y_{6621} + y_{6131} + y_{6431} + y_{6631}) + 41.52(y_{6112} + y_{6412} + y_{6612} + y_{6122} + y_{6422} + y_{6622} + \\ & + y_{6132} + y_{6432} + y_{6632}) + 24(y_{6113} + y_{6413} + y_{6613} + y_{6123} + y_{6423} + y_{6623} + y_{6133} + y_{6433} + \\ & + y_{6633}) - 6500x_1 - 4000x_2 - 2500x_3 - 5500x_4 - 2500x_5 - 4000x_6 - 390(h_{11} + h_{12} + h_{13}) - \\ & - 230(h_{21} + h_{22} + h_{23}) - 150(h_{31} + h_{32} + h_{33}) - 300(h_{41} + h_{42} + h_{43}) - 150(h_{51} + h_{52} + \\ & + h_{53}) - 230(h_{61} + h_{62} + h_{63}) \rightarrow \max; \end{aligned}$$

Расчет выполнен с помощью программного продукта LPsolve IDE 5.5.2.0.

Результаты решения задачи представлены в таблице 2.15.

Значение целевой функции (F) составляет 42693, 17 условных единиц.

Показатели использования вместимости поездов по категориям вагонов представлены на рисунках 2.18–2.20.

Таблица 2.15 – Распределение пассажиропотоков по назначениям (пример 2.6)

Поездные назначения		$x_1 = 4$			$x_2 = 2$			$x_3 = 2$			$x_4 = 1$			$x_5 = 2$			$x_6 = 0$		
		П=5	Л=4	К=9	П=11	Л=0	К=7	П=4	Л=2	К=12	П=18	Л=0	К=0	П=3	Л=0	К=15	П=0	Л=0	К=0
П ₁ =200	П=140	126	0	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Л=10	0	9	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=50	0	0	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
П ₂ =500	П=290	279	11	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Л=10	1	9	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=200	0	0	0	20	0	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
П ₃ =5000	П=2500	674	159	0	1168	0	19	408	72	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Л=100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=2400	0	0	1231	0	0	305	0	0	864	-	-	-	-	-	-	-	-	-
П ₄ =2000	П=1000	0	100	0	-	-	-	-	-	-	900	0	0	-	-	-	-	-	-
	Л=50	0	50	0	-	-	-	-	-	-	0	0	0	-	-	-	-	-	-
	К=950	0	70	880	-	-	-	-	-	-	0	0	0	-	-	-	-	-	-
П ₅ =4000	П=2200	496	19	153	1168	0	0	-	-	-	72	0	0	292	0	0	-	-	-
	Л=20	0	20	0	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	-	-	-
	К=1780	178	0	198	0	0	324	-	-	-	0	0	0	0	0	1080	-	-	-
П ₆ =500	П=240	216	24	0	-	-	-	-	-	-	0	0	0	-	-	-	-	-	-
	Л=10	0	10	0	-	-	-	-	-	-	0	0	0	-	-	-	-	-	-
	К=250	0	25	225	-	-	-	-	-	-	0	0	0	-	-	-	-	-	-

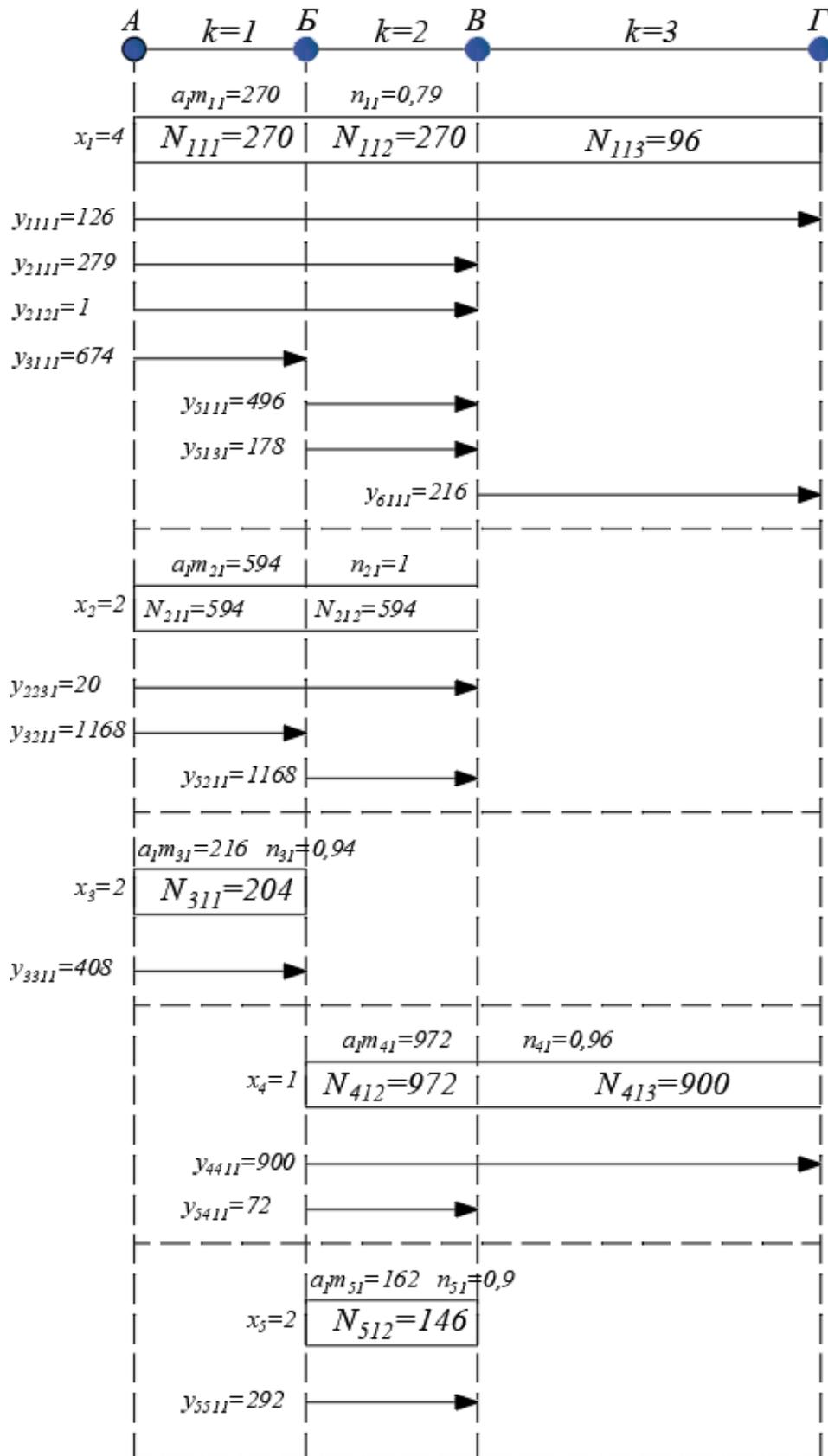


Рисунок 2.18 – Показатели использования вместимости плацкартных вагонов на расчетном участке следования пассажирских поездов

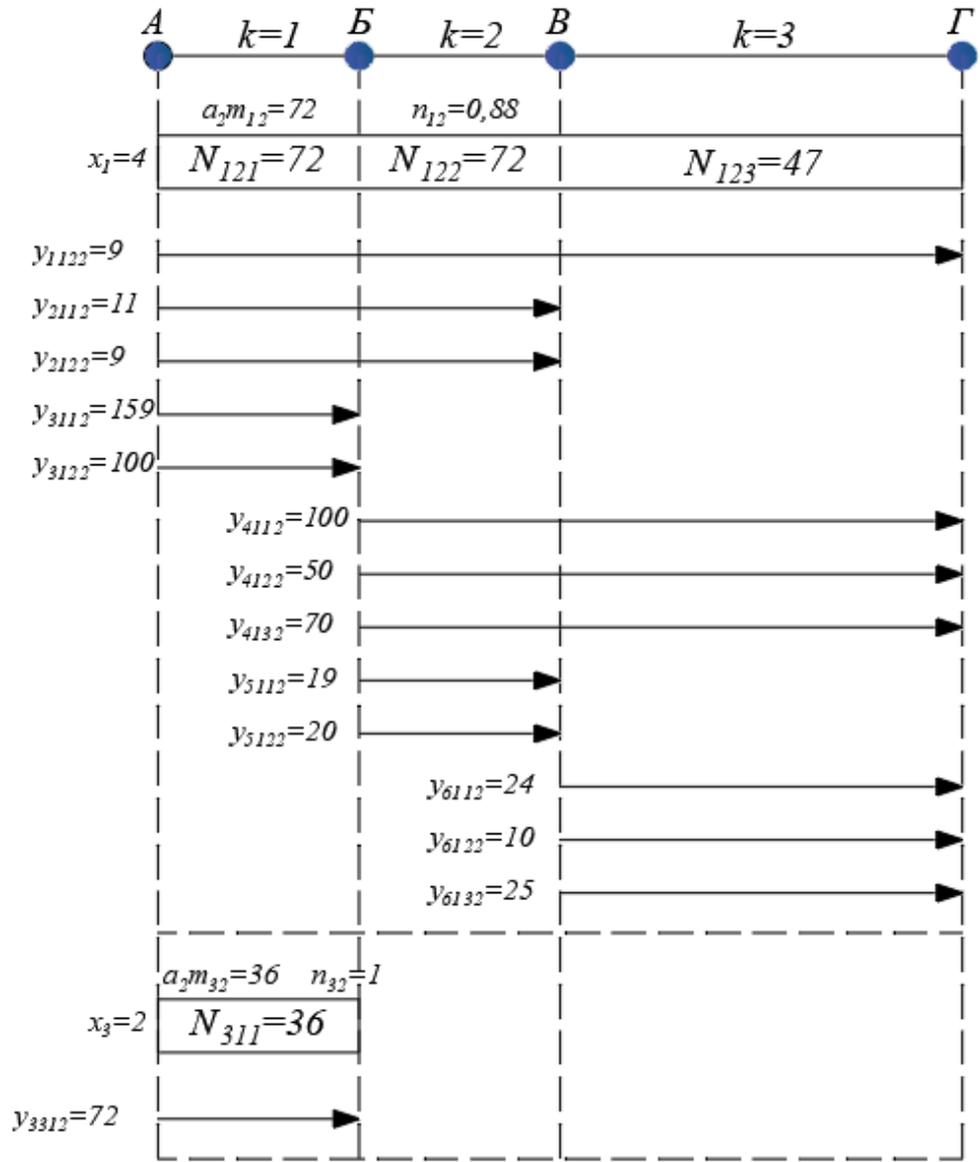


Рисунок 2.19 – Показатели использования вместимости вагонов класса «Люкс» на расчетном участке следования пассажирских поездов

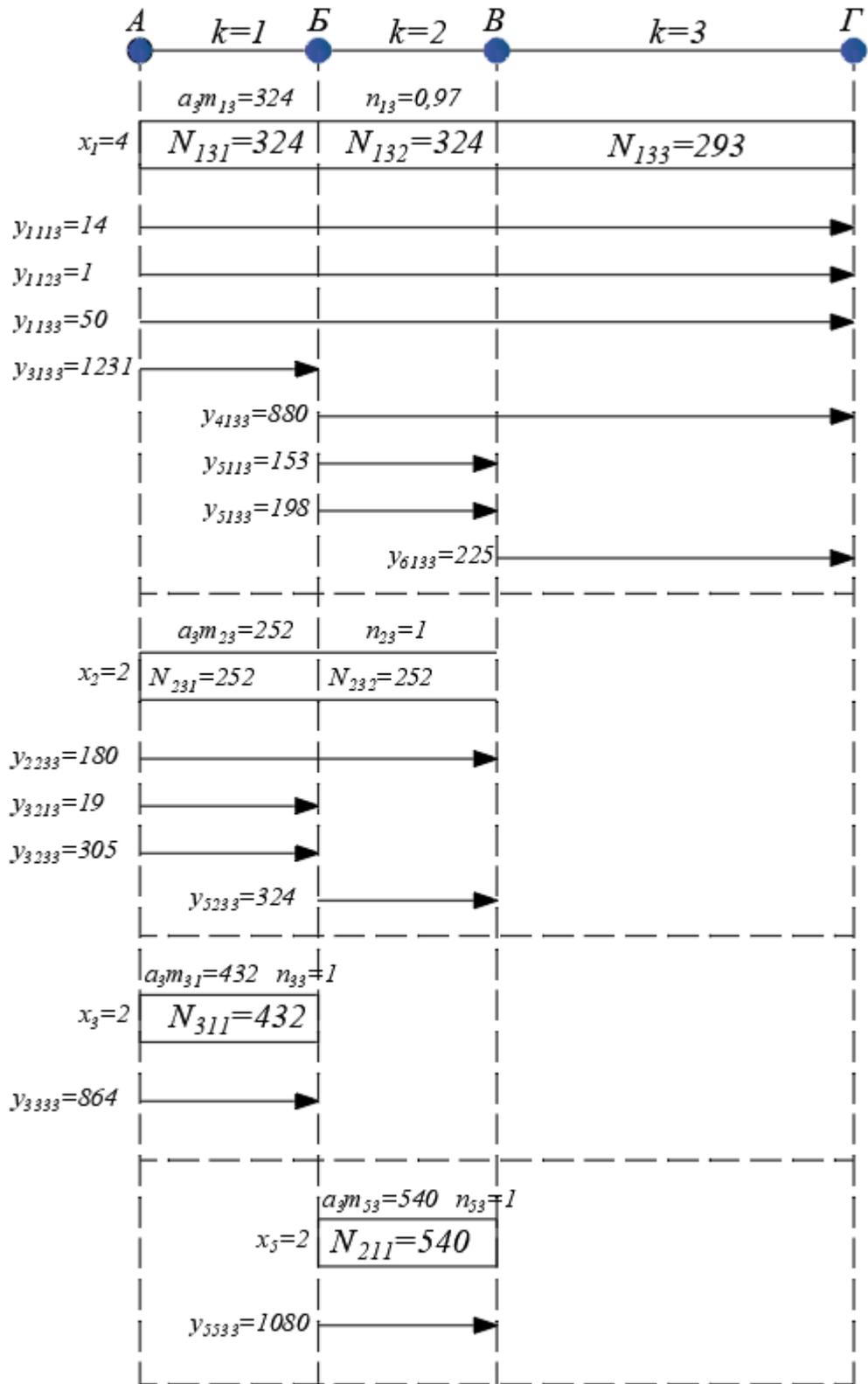


Рисунок 2.20 – Показатели использования вместимости купейных вагонов на расчетном участке следования пассажирских поездов

Из рисунков (2.18–2.20) видно, что вагоны всех категорий заполнены равномерно. В связи с этим можно сделать вывод, что схемы составов пассажирских поездов сформированы в соответствии со структурой пассажиропотока. Таким образом, вариант расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования с учетом предпочтений пассажиров по выбору поездов и распределением пассажиропотоков по типам мест позволит сохранить существующий и привлечь дополнительный пассажиропоток на железнодорожный транспорт.

Сравнительные результаты расчетов из примеров 2.5 и 2.6 приведены в таблице 2.16.

Таблица 2.16 – Сравнительные результаты расчетов из примеров 2.5 и 2.6

Поездное назначение	Пример 2.5					Пример 2.6				
	Число поездов	Схема состава поезда			Коэф. исп. вместимости	Число поездов	Схема состава поезда			Коэф. исп. вместимости
		П	Л	К			П	Л	К	
x_1	4	10	1	7	0,79	4	5	4	9	0,88
x_2	2	8	2	8	1,00	2	11	0	7	1,00
x_3	2	7	2	5	1,00	2	4	2	12	0,98
x_4	2	8	2	8	0,98	1	18	0	0	0,96
x_5	1	7	2	5	0,92	2	3	0	15	0,98
x_6	0	5	2	5	-	0	0	0	0	-
Итого	11	93	18	75	0,91	11	74	20	104	0,95
Знач. целевой функции, у.е.	31 271,46					42 693,17				

Результаты определения маршрутов пассажирских поездов дальнего следования в примерах 2.5 и 2.6 показывают эффективность использования математической модели расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования и определения схем составов поездов.

2.4 Методика определения эксплуатационных затрат, приходящихся на пассажирский поезд дальнего следования

Расходы за один рейс поезда определяются по формуле:

$$E_j = c_j^{\text{ваг}} + C_j^{\text{поезд}}, \quad (2.45)$$

где $C_j^{\text{поезд}}$ – поездная составляющая текущих расходов на эксплуатацию поезда.

$$C_j^{\text{поезд}} = C_j^{\text{лок}} + F_j^{\text{инф}}, \quad (2.46)$$

где $c_j^{\text{ваг}}$, $C_j^{\text{лок}}$, $F_j^{\text{инф}}$ – текущие расходы на эксплуатацию поезда соответственно по вагонной, локомотивной и инфраструктурной составляющим.

Вагонная составляющая включает зависящие и постоянные затраты:

$$c_j^{\text{ваг}} = c_j^{\text{зав}} + c_j^{\text{пост}}, \quad (2.47)$$

где $c_j^{\text{зав}}$, $c_j^{\text{пост}}$ – зависящие и постоянные затраты вагонной составляющей соответственно.

$$c_j^{\text{зав}} = e_{ht} * ht + e_{hS} * hS + e_{ht_{\text{дв}}} * ht_{\text{дв}} + e_{P_{\text{отпр}}} * P_{\text{отпр}} + e_{h_{jv}} * h_{jv}, \quad (2.48)$$

где e_{ht} – расходная ставка на один вагоно-час использования вагона в составе поезда, руб./ваг.-час;

ht – вагоно-часы использования вагона в составе поезда, ваг.-час;

e_{hS} – расходная ставка на один вагоно-километр пассажирского вагона, руб./ваг.-км;

hS – вагоно-километровая работа поезда, ваг.км;

$e_{ht_{\text{дв}}}$ – расходная ставка на один вагоно-час в движении пассажирского вагона, руб./ваг.-час;

$ht_{\text{дв}}$ – вагоно-часы движения вагона в составе поезда, ваг.-час в движении;

$e_{P_{\text{отпр}}}$ – расходная ставка по продаже билетов на отправленного пассажира, руб./отпр.пасс;

$e_{h_{jv}}$ – расходная ставка на отправленный вагон v -го типа j -го поездного назначения, руб./отпр.ваг;

h_{jv} – число вагонов v -го типа j -го поездного назначения, ваг.

К расходам компании-перевозчика на организацию железнодорожных пассажирских перевозок относятся расходы на оказание услуг по пассажирским перевозкам в дальнем следовании (рисунок 2.21) и на ремонт подвижного состава (рисунок 2.22).

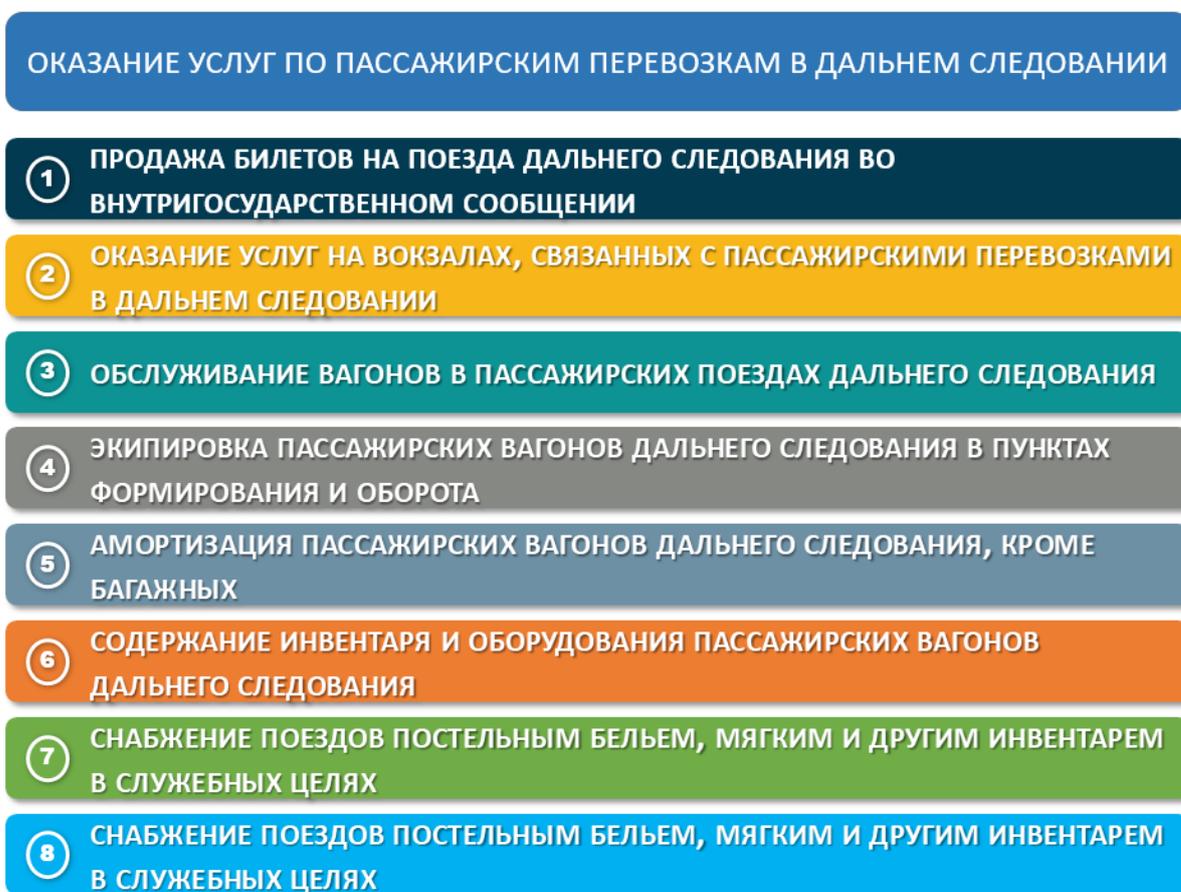


Рисунок 2.21 – Перечень расходов на оказание услуг по пассажирским перевозкам в дальнем следовании



Рисунок 2.22 – Перечень расходов на ремонт подвижного состава

Расходы по локомотивной составляющей определяются договором аренды локомотивов с локомотивными бригадами в пассажирском движении, заключенного между компанией-перевозчиком и ОАО «РЖД». Договор аренды локомотивов включает платы, представленные на рисунке 2.23.

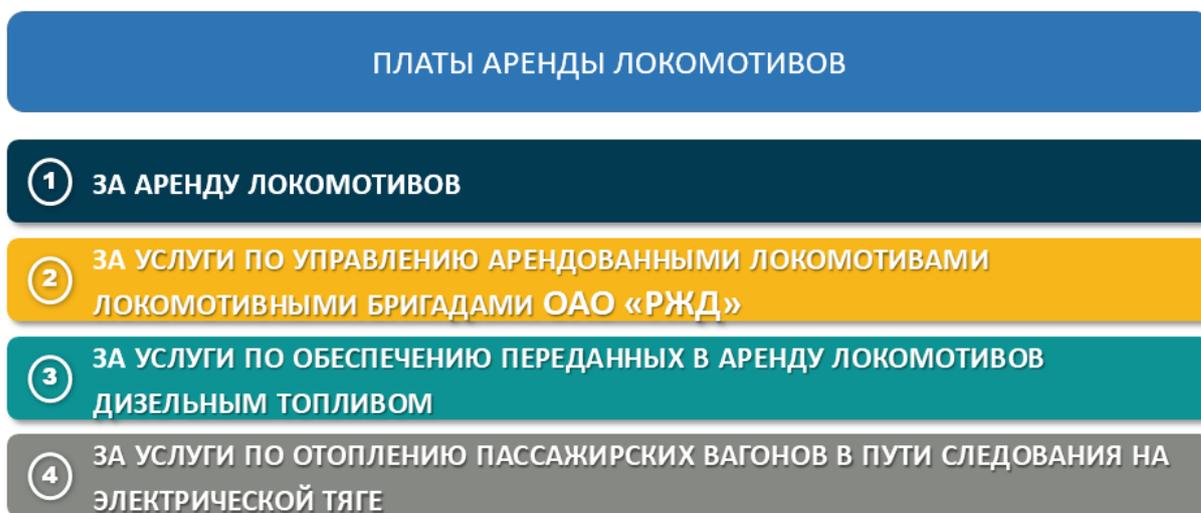


Рисунок 2.23 – Перечень плат аренды локомотивов

Локомотивная составляющая расходов определяется по формуле:

$$C_j^{\text{лок}} = \sum N_j^o * t^o * (e_{\text{лок-ч}}^o + e_{\text{бр-ч}}^o) + C_{j \text{ доп}}^o, \quad (2.49)$$

где $\sum N_j^o$ – суммарное число локомотивов γ типа o -й тяги;

t^o – время следования локомотивов по участку на o -й тяге;

$e_{\text{лок-ч}}^o$ – расходная ставка работы локомотивов o -й тяги;

$e_{\text{бр-ч}}^o$ – расходная ставка работы локомотивных бригад, относящиеся к локомотивам o -й тяги;

$C_{j \text{ доп}}^o$ – дополнительные затраты, связанные с используемой энергией локомотивами γ типа o -й тяги:

$$C_{j \text{ доп}}^o = \sum Q^{\text{бр}} S^o * \frac{\rho^o}{10000} * e^o, \quad (2.50)$$

где e^o – стоимость одной единицы используемой энергии, руб.;

ρ^o – норма расхода используемой энергии на 10 000 тонно-километров брутто, кВт/кг;

$\sum Q^{\text{бр}} S^o$ – тонно-километры брутто поездов o -й тяги:

$$\sum Q^{\text{бр}} S^o = (\sum h_v * \psi_v + \sum N_j^o * M_j) * s^o, \quad (2.51)$$

где ψ_v – масса вагона v -го типа, т;

M_j – масса локомотива γ -го типа, т;

s^o – длина участка обращения локомотив o -й тяги, км.

Инфраструктурная составляющая расходов компании-перевозчика связана с выполненными эксплуатационными показателями: поездо-километры, вагоно-километры, отправленные вагоны. Для каждого показателя установлен свой уровень тарифа: *И1*, *И2*, *И3*.

Формула для определения инфраструктурной составляющей принимает вид:

$$F_j^{\text{инф}} = И1 + (И2 + И3) \sum_{v=1}^q h_j, \quad (2.52)$$

где $\sum_{v=1}^Q h_j$ – суммарное число вагонов в составе поезда j -го назначения.

Методика определения эксплуатационных затрат, приходящихся на пассажирский поезд дальнего следования, дает возможность определить составляющие затрат пассажирских перевозок железнодорожным транспортом, обосновать важность учета предпочтений пассажиров по выбору поездов и определения схем составов поездов.

Выводы по главе 2

1. Разработанная методика расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования с учетом предпочтений пассажиров по выбору поездов позволяет установить распределение пассажиропотока по типам мест в составах поездов и определить потребное количество пассажирских поездов дальнего следования на участке железной дороги.

2. Разработанные математические модели для формирования маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования с обеспечением выполнения беспересадочных сообщений для основного потока пассажиров окажут положительное влияние на спрос в сегменте пассажирских перевозок дальнего следования и таким образом повысится конкурентоспособность железнодорожного транспорта с другими видами транспорта.

3. Учет предпочтений пассажиров при формировании маршрутов пассажирских поездов дальнего следования способствует повышению уровня удовлетворенности спроса пассажиров на перевозки и переходу части пассажиропотока с альтернативных видов транспорта на железнодорожный, а это, в свою очередь, положительно отразится на доходе (выручке от продажи билетов) компаний-перевозчиков.

4. Применение теории нечетких множеств позволяет обработать разнородную информацию, поступающую от пассажиров, и использовать

полученные данные при определении потребного количества пассажирских поездов дальнего следования на расчетном участке железной дороги.

5. Предложена методика расчета оценки влияния предпочтений пассажиров на выбор поездов пассажирами, позволяющая строить функции принадлежности лингвистических переменных «вероятность выбора поезда пассажирами» и использовать полученные результаты при расчете маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования.

6. Применение теории нечетких множеств и нечеткой логики способствует созданию математических моделей расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования по факторам учета предпочтений пассажиров по выбору поездов в условиях многофакторности и неопределенности пассажиров.

7. Предложены и обоснованы функции принадлежности лингвистической переменной в виде треугольных нечетких чисел, определяющих предпочтения пассажирских поездов дальнего следования на расчетном участке железной дороги.

3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАССАЖИРОПОТОКА ПО ТИПАМ МЕСТ В ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДАХ ДАЛЬНЕГО СЛЕДОВАНИЯ

Предложенные во втором разделе математические модели расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования по факторам учета предпочтений пассажиров по выбору поездов учитывают сегментацию пассажиропотока по типам мест, поэтому в данном разделе диссертационного исследования рассмотрено определение закономерности распределения пассажиропотока по типам мест в пассажирских поездах дальнего следования.

Определение закономерности распределения пассажиропотока по типам мест в пассажирских поездах дальнего следования представляет собой реализацию информационного подхода к моделированию процессов. Данный подход прочно связан с вопросами анализа данных и извлечения из них закономерностей. Для такого анализа применяются методы, предназначенные для поиска закономерностей в нечетких базах данных. Этапы таких методов представлены на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Этапы методов, предназначенных для поиска закономерностей в нечетких базах данных

Определение закономерности распределения пассажиропотока по типам мест требует решения следующих основных задач:

- подготовка и нормирование исходных данных по пассажиропотокам на маршрутах пассажирских поездов дальнего следования;
- разработка структуры исследования;
- оценка и описание результатов исследования [94].

Определение закономерности распределения пассажиропотока по типам мест в пассажирских поездах дальнего следования будет выполняться с помощью кластерного анализа данных по пассажиропотокам, позволяющего уменьшить размерность задачи с минимальной потерей информации.

3.1 Кластерный анализ данных по пассажиропотокам

3.1.1 Общие сведения о кластерном анализе

Кластерный анализ – это способ классификации объектов по их признакам в сравнительно однородные группы (кластеры). Кластер — группа элементов, характеризуемых общим свойством. Кластеры должны включать в себя однородные объекты, а объекты разных кластеров должны отличаться [96, 97]. В связи с этими характеристиками кластера являются два признака:

- внутренняя однородность;
- внешняя изолированность.

Большая ценность кластерного анализа заключается в группировке объектов не только по одному параметру, но и по целому набору признаков [48].

Кластерный анализ позволяет решить различные задачи, основные из которых представлены на рисунке 3.2.

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА

- 1 ПРОВЕДЕНИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ С УЧЕТОМ ПРИЗНАКОВ, ОТРАЖАЮЩИХ СУЩНОСТЬ ОБЪЕКТОВ. РЕШЕНИЕ ТАКОЙ ЗАДАЧИ, КАК ПРАВИЛО, ПРИВОДИТ К УГЛУБЛЕНИЮ ЗНАНИЙ О СОВОКУПНОСТИ КЛАССИФИЦИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ;
- 2 ПРОВЕРКА ВЫДВИГАЕМЫХ ПРЕДПОЛОЖЕНИЙ О НАЛИЧИИ НЕКОТОРОЙ СТРУКТУРЫ В ИЗУЧАЕМОЙ СОВОКУПНОСТИ ОБЪЕКТОВ, Т. Е. ПОИСК СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СТРУКТУРЫ;
- 3 ПОСТРОЕНИЕ НОВЫХ КЛАССИФИКАЦИЙ ДЛЯ СЛАБОИЗУЧЕННЫХ ЯВЛЕНИЙ, КОГДА НЕОБХОДИМО УСТАНОВИТЬ НАЛИЧИЕ СВЯЗЕЙ ВНУТРИ СОВОКУПНОСТИ И ПОПЫТАТЬСЯ ПРИВНЕСТИ В НЕЕ СТРУКТУРУ;
- 4 РАБОТА С ДОСТАТОЧНО БОЛЬШИМ ОБЪЕМОМ ИНФОРМАЦИИ И СЖАТИЕ БОЛЬШИХ МАССИВОВ ИНФОРМАЦИИ.

Рисунок 3.2 – Основные задачи кластерного анализа

Использование кластерного анализа [99] в научной сфере ведет к решению различных задач управления. Следует отметить, что преимуществом использования кластерного анализа является обработка большого объема данных [47], которые имеют различную физическую природу и могут быть несовместимы по типам.

Область применения кластерного анализа огромна и постоянно расширяется. В исследованиях, включающих кластерный анализ, можно выделить этапы, представленные на рисунке 3.3.



Рисунок 3.3 – Этапы исследований, включающих кластерный анализ

После получения и анализа результатов исследования возможна корректировка метрики и метода кластеризации до получения наилучшего результата.

3.1.2 Алгоритм кластерного анализа данных по пассажиропотокам

Как было отмечено ранее, в диссертационном исследовании определение закономерности распределения пассажиропотока по типам мест в пассажирских поездах дальнего следования будет выполняться с помощью кластерного анализа данных по пассажиропотокам, а именно с применением наиболее популярного метода кластеризации – метода k-средних.

Алгоритм кластерного анализа данных по пассажиропотокам состоит из 3 основных этапов:

Этап 1: Подготовка исходных данных. Исходные данные подготавливаются в виде матрицы, все ячейки которой должны быть заполнены значениями;

Этап 2: Задание структуры кластерного анализа. Данный этап включает 6 шагов:

Шаг 1: Задание числа групп (кластеров) – k , на которое требуется разбить исследуемую выборку данных по пассажиропотокам. Задается максимальное число итераций [49].

Из общего множества маршрутов следования поездов выбирается k маршрутов, которые считаются начальными «центрами» групп σ . Таким образом, каждая группа отождествляется с единственным начальным «центром». Все исследуемые объекты распределяются по k -группам, исходя из критерия близости к одному из центроидов. Для определения близости используется расстояние:

$$R_i = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[(M^1 - M_{(i)})^2 + (L^1 - L_{(i)})^2 \right]}, \quad (3.1)$$

где M_i, L_i – точки действующих маршрутов;

M^1, L^1 – центроид класса 1.

$$\sigma_1 \Rightarrow (M^1, L^1).$$

Шаг 2: Определение новых центроидов кластеров, которые вычисляются как средние значения весовых коэффициентов маршрутов следования пассажирских поездов, отнесенных к сформированным кластерам:

$$\sigma_k = \frac{1}{S_k} \sum T_k, \quad (3.2)$$

где S_k – количество точек в группе;

T_k – подмножество точек.

Шаг 3: Конфигурация кластеров. Осуществляется перераспределение маршрутов следования пассажирских поездов относительно новых центроидов, исходя из критерия близости к этим центроидам.

Шаг 4: Проверка условий окончания формирования групп. Цикл повторяется со второго шага до выполнения одного или нескольких условий окончания:

- все маршруты относятся к кластеру, к которому они принадлежали до текущей конфигурации;
- число итераций равно максимальному.

Шаг 5: Определение границ диапазонов. В каждом подмножестве точек T_k эвристическим методом принимаются минимальное и максимальное значение переменных маршрутов, образующих кластеры.

Шаг 6: Проверка качества структуризации. При полноценной структуризации должны быть получены сильно отличающиеся средние значения весовых коэффициентов маршрутов следования пассажирских поездов для всех групп.

Этап 3: Вывод результатов и их анализ.

Алгоритм кластерного анализа данных по пассажиропотокам в виде блок – схемы представлен на рисунке 3.4.

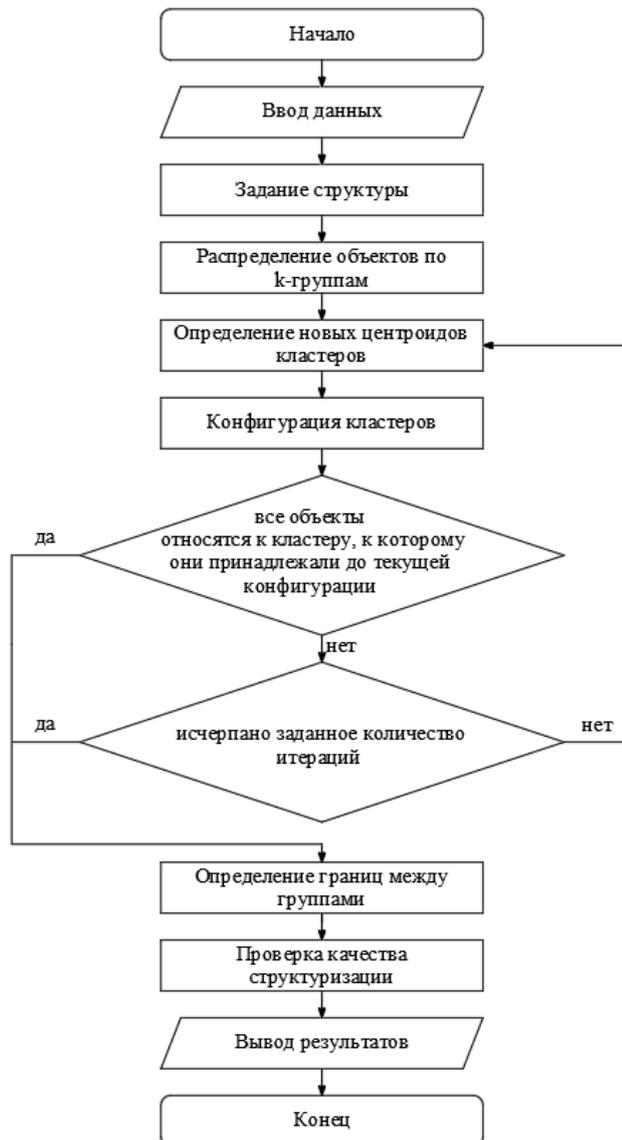


Рисунок 3.4 – Блок – схема алгоритма кластерного анализа

Для установления распределения пассажиров по вагонам необходимо суммарное количество пассажиров, следующих в вагонах i -го типа на маршрутах следования поездов, входящих в j -ю группу, разделить на суммарное количество пассажиров, следующих в поездах на маршрутах, входящих в j -ю группу:

$$\omega = \frac{\sum l_i^j}{\sum L^j}, \quad (3.3)$$

где $\sum l_i^j$ – суммарное количество пассажиров, следующих в вагонах i -го типа на маршрутах следования поездов, входящих в j -ю группу;

$\sum L^j$ – суммарное количество пассажиров, следующих в поездах на маршрутах, входящих в j -ю группу.

Пример 3.1

Установим закономерности распределения пассажиропотока по типам мест в зависимости от дальности маршрутов пассажирских поездов дальнего следования. Исходная выборка данных по пассажиропотокам представлена в таблице А.1 (приложение А).

В качестве переменных используются:

- дальность маршрута следования поезда (переменная M);
- мощность пассажиропотока (переменная L).

Пусть распределение элементов исследования (маршрутов) осуществляется по 7 кластерам.

Кластерный анализ выполняется в программе «STATISTICA».

В таблице А.2 (приложение А) указана принадлежность маршрутов пассажирских поездов дальнего следования к кластерам.

Данные по группам, полученным в результате анализа представлены в таблице 3.1.

Распределение пассажиров по вагонам и описания групп маршрутов представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.1 – Данные по группам

№ группы	Размер группы (число маршрутов)	Диапазон дальности маршрутов, км (переменная <i>M</i>)	Диапазон мощностей пассажиропотока, пасс/сут (переменная <i>L</i>)
1	134	240-719	300-84999
2	2	550-599	550000-609999
3	133	720-1199	300-69999
4	90	1670-2119	300-74999
5	13	380-719	85000-299999
6	56	2120-2499	300-74999
7	120	1200-1669	300-149999

Таблица 3.2 – Распределение пассажиров по вагонам и описания групп маршрутов

№ группы	Распределение пассажиров по вагонам, доли	Описания групп
1	С местами для сидения: 0,23 Плацкарт: 0,54 Люкс: 0,01 Купе: 0,22	Группа маршрутов, на которых курсируют скорые пассажирские поезда. Большим спросом среди пассажиров пользуются плацкартные вагоны. Практически в равных долях распределяются пассажиры в вагонах с местами для сидения и в вагонах купе.
2	С местами для сидения: 0,51 Плацкарт: 0,29 Люкс: 0,01 Купе: 0,19	Группа маршрутов, на которых курсируют, в основном, скоростные поезда, состоящие из вагонов с местами для сидения.
3	С местами для сидения: 0,05 Плацкарт: 0,63 Люкс: 0,01 Купе: 0,31	Группа маршрутов, на которых курсируют пассажирские поезда. Большим спросом среди пассажиров пользуются плацкартные вагоны и вагоны купе. Практически отсутствуют в составах поездов вагоны с местами для сидения.

Продолжение таблицы 3.2

4	С местами для сидения: 0,00 Плацкарт: 0,68 Люкс: 0,01 Купе: 0,31	Группа маршрутов, на которых курсируют пассажирские поезда. Большим спросом среди пассажиров пользуются плацкартные вагоны и вагоны купе.
5	С местами для сидения: 0,23 Плацкарт: 0,53 Люкс: 0,01 Купе: 0,23	Группа маршрутов, на которых курсируют пассажирские поезда. Большим спросом среди пассажиров пользуются плацкартные вагоны. В равных долях распределяются пассажиры в вагонах с местами для сидения и в вагонах купе.
6	С местами для сидения: 0,00 Плацкарт: 0,67 Люкс: 0,00 Купе: 0,33	Группа маршрутов, на которых курсируют пассажирские поезда. Большим спросом среди пассажиров пользуются плацкартные вагоны. Лишь каждый третий пассажир приобретает билет на место в вагоне купе.
7	С местами для сидения: 0,00 Плацкарт: 0,68 Люкс: 0,01 Купе: 0,31	Группа маршрутов, на которых курсируют пассажирские поезда. Большим спросом среди пассажиров пользуются плацкартные вагоны и вагоны купе.

Анализ данных показал, что все кластеры заполнены, однако их размерность различается.

Сформированные описания можно использовать для установления закономерности распределения любого пассажиропотока, для которого имеется тот же набор входных данных. Следует обратить внимание на то, что могут встречаться маршруты, данные которых выходят за границы нормализации. В этом случае, маршруты могут быть распределены между существующими кластерами или образуют новый в результате перерасчета данных [59].

3.2 Корреляционный анализ маршрутов пассажирских поездов дальнего следования

В процессе изучения показателей объектов можно установить «силу» связи между ними. Количественная оценка силы и направления взаимосвязи между показателями объектами является целью корреляционного анализа. В зависимости от разности значений показателей между собой корреляционная связь может быть положительной (увеличение значения одного показателя приводит к увеличению значения другого показателя и наоборот) или отрицательной (увеличение значение одного показателя приводит к уменьшению значения другого показателя и наоборот). Например, между дальностью маршрута следования пассажирского поезда и выбором пассажира более комфортного типа подвижного состава наблюдается положительная корреляционная связь [25].

Для количественной оценки корреляционной связи может быть использован коэффициент корреляции Пирсона (r) в пределах: $[0, 1]$ или $[-1, 0]$. Сила корреляционной связи в зависимости от коэффициента корреляции представлена в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Оценка корреляционной связи

Коэффициент корреляции	Сила корреляционной связи
0,00	отсутствует
$[0,01;0,29]$; $[-0,01; -0,29]$	слабая
$[0,30;0,69]$; $[-0,30; -0,69]$	средняя
$[0,70;0,99]$; $[-0,70; -0,99]$	сильная
1,00; -1,00	полная

Графически примеры корреляционной связи можно представить следующим образом (рисунок 3.5).

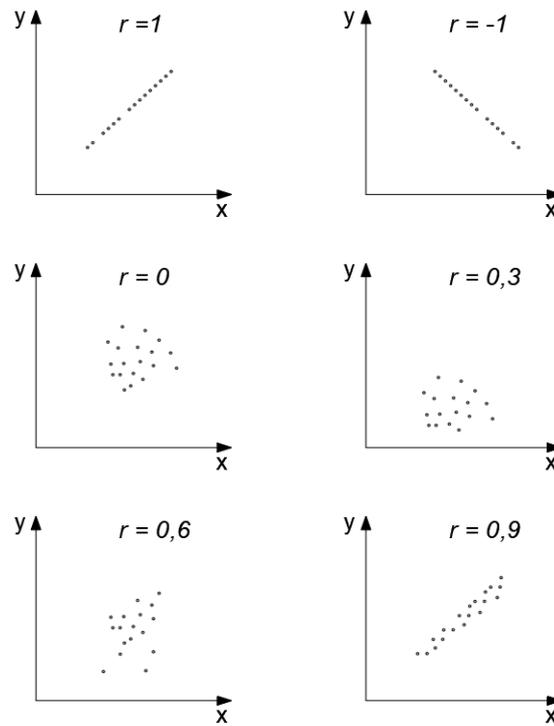


Рисунок 3.5 – Примеры корреляционной связи

Для понимания степени связи между показателями используется коэффициент детерминации η ($\eta = r^2$). Коэффициент детерминации показывает какую долю варибельности одного из показателей объекта способно объяснить изменение другого показателя. Зависимость доли варибельности от коэффициента корреляции представлена на рисунке 3.6.

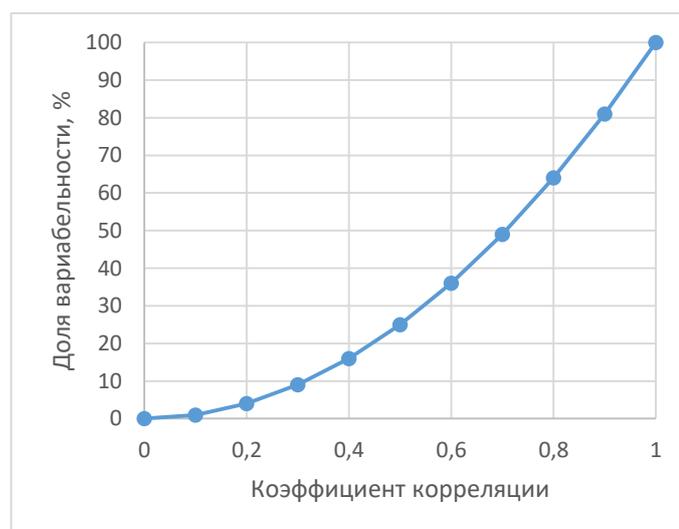


Рисунок 3.6 – Зависимость доли варибельности от коэффициента корреляции

Следует принимать во внимание, что обнаруженные связи между двумя показателями в процессе интерпретации итогов корреляционного анализа могут быть обусловлены воздействием третьего фактора. К примеру, чем протяжённее маршрут следования пассажирского поезда, тем более комфортный тип подвижного состава пассажир выберет. Но это не значит, что все пассажиры выберут вагоны-купе или вагоны класса «Люкс», так, в данном случае, имеется третий фактор, который связан с этими переменными – материальное благополучие пассажира.

Пример 3.2

Проведем корреляционный анализ данных по пассажиропотокам и установим зависимость переменных «дальность маршрута следования поезда» и «количество пассажиров, следующих в более комфортных типах вагонов» из Москвы по различным маршрутам.

Исходные данные представлены в таблице 3.4 со следующими условными обозначениями переменных:

l_1 – количество пассажиров, следующих в вагонах с местами для сидения, пасс;

l_2 – количество пассажиров, следующих в плацкартных вагонах, пасс;

l_3 – количество пассажиров, следующих в вагонах класса «Люкс», пасс;

l_4 – количество пассажиров, следующих в вагонах купе, пасс;

M – дальность маршрута следования поезда, км.

В качестве количества пассажиров, следующих в более комфортных типах вагонов, принято суммарное значение количества пассажиров, следующих в вагонах купе и вагонах класса «Люкс». Полученные результаты представлены в таблице 3.5 в нормализованном виде.

Корреляционный анализ выполнен в программе «STATISTICA».

Таблица 3.4 – Исходная выборка данных по пассажиропотокам на маршрутах следования пассажирских поездов

№	Начальный пункт	Конечный пункт	l_1	l_2	l_3	l_4	M
1	Москва	Александров	61 632	1335	33	775	112,8
2		Тверь	47 827	13172	179	5236	168,2
3		Калуга	221 295	878	31	562	190,9
4		Тула	367 798	38091	495	16943	196
5		Рязань	457 278	38947	2779	45560	198,2
6		Ржев	3 035	2154	21	858	235
7		Вязьма	137 635	28971	87	7774	243
8		Павелец	2 573	2456	6	660	257
9		Сухиничи	30 929	7833	223	2857	261
10		Ярославль	546 371	142311	3136	49216	282,1
11		Ряжск	9 720	6350	35	2015	315
12		Бологое	19 816	12191	53	6826	333,1
13		Орел	258 697	110491	1139	37823	383,1
14		Брянск	551 572	150970	16800	96044	383,3
15		Окуловка	11 891	11305	93	5451	403,8
16		Мичуринск	113 537	36846	1060	14438	409,5
17		Смоленск	307 439	129418	2137	50060	419
18		Великие Луки	2 781	29344	422	12975	476
19		Тамбов	28 670	139161	5039	63719	477,1
20		Липецк	18 812	71384	1969	38986	510,8
21		Чудово	23 156	3316	70	802	536,9
22		Курск	210 135	192658	5801	93448	559,2
23		Льгов	2 398	32541	4	12292	582,2
24		Дно	166	1810	23	412	608,7
25		Воронеж	333 225	141451	7906	123850	609,7
26		Новгород	37	71906	3312	27344	611,3
27		Череповец	4 686	72308	2048	27760	620
28		Санкт-Петербург	2791 782	935110	95102	1571716	651,8
29		Ртищево	6 084	31039	307	7530	668
30		Белгород	126 796	252411	10223	114399	697,5
31		Поворино	106	6146	51	3332	702,3
32		Псков	5 382	81178	3079	37868	703,1
33		Пенза	16 200	170361	10682	101774	732,9
34		Саратов	24 895	289995	11026	177498	857,3
35		Киров	2 799	206818	9380	99852	920,4
36		Волгоград	458	121216	2581	77251	1069,9

Таблица 3.5 – Нормализованные данные для корреляционного анализа

№	Начальный пункт	Конечный пункт	$l_{3+} l_4$	l_5
1	Москва	Александров	0,03	0,00
2		Тверь	0,20	0,06
3		Калуга	0,00	0,08
4		Тула	0,10	0,09
5		Рязань	0,22	0,09
6		Ржев	0,36	0,13
7		Вязьма	0,11	0,14
8		Павелец	0,29	0,15
9		Сухиничи	0,18	0,15
10		Ярославль	0,17	0,18
11		Ряжск	0,28	0,21
12		Бологое	0,44	0,23
13		Орел	0,24	0,28
14		Брянск	0,34	0,28
15		Окуловка	0,48	0,30
16		Мичуринск	0,23	0,31
17		Смоленск	0,26	0,32
18		Великие Луки	0,74	0,38
19		Тамбов	0,73	0,38
20		Липецк	0,79	0,42
21		Чудово	0,07	0,44
22		Курск	0,50	0,47
23		Льгов	0,65	0,49
24		Дно	0,45	0,52
25		Воронеж	0,55	0,52
26		Новгород	0,75	0,52
27		Череповец	0,70	0,53
28		Санкт-Петербург	0,78	0,56
29		Ртищево	0,44	0,58
30		Белгород	0,62	0,61
31		Поворино	0,89	0,62
32		Псков	0,81	0,62
33		Пенза	0,95	0,65
34		Саратов	0,94	0,78
35		Киров	0,86	0,84
36		Волгоград	1,00	1,00

Сводные данные корреляционного анализа представлены на рисунке 3.7.

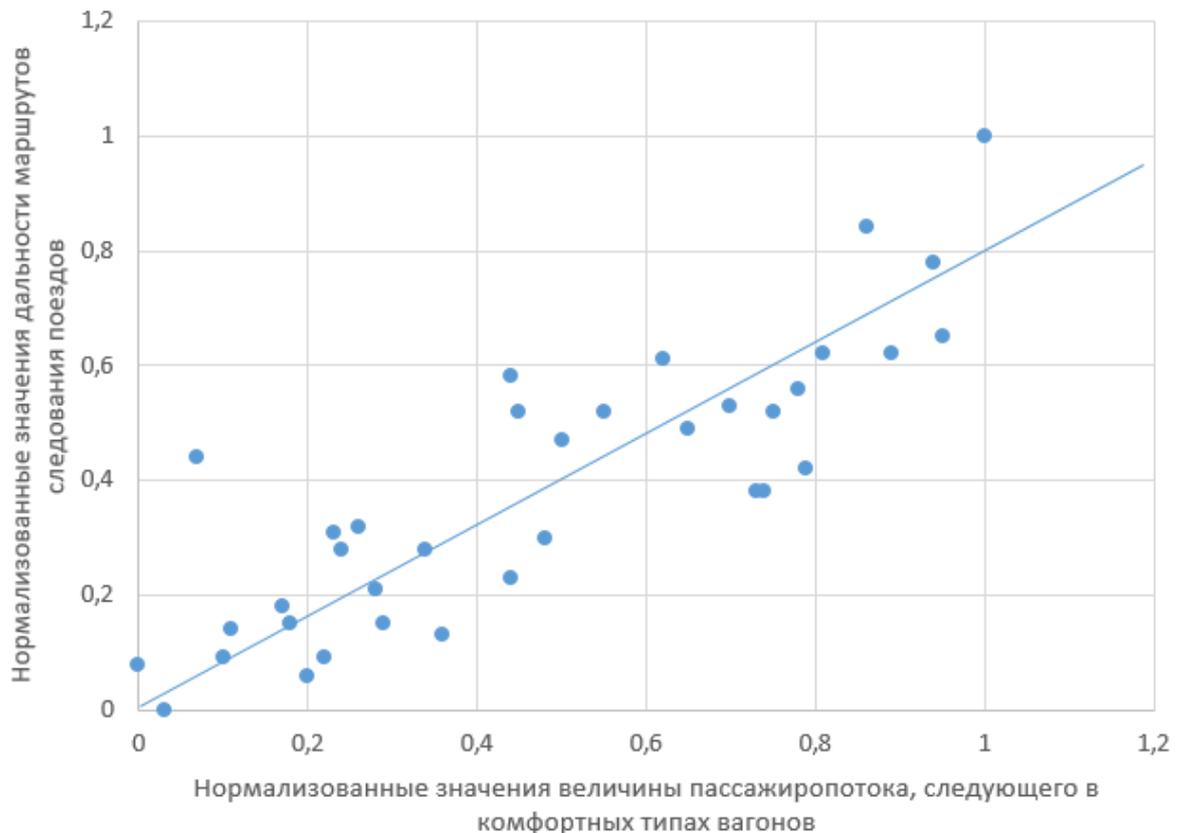


Рисунок 3.7 – Сводные данные корреляционного анализа, показывающие зависимость между переменными «дальность маршрута» и «количество пассажиров, следующих в комфортных типах вагонов»

Анализируя зависимость между переменными «дальность маршрута следования поезда» и «количество пассажиров, следующих в более комфортных типах вагонов» (рисунок 3.7), можно сделать вывод, что она является линейной. Разброс точек вокруг теоретически ожидаемой линии примерно одинаков. Таким образом, подтверждается нормальность распределения данных и возможность использования коэффициента корреляции Пирсона при корреляционном анализе. Коэффициент корреляции Пирсона указан в строке «Correlation: $r = ,85092$ » и равен $r = 0,85$.

В сводной таблице (рисунок 3.8) представлен количественный результат корреляционного анализа, показывающий статическую значимость

коэффициента корреляции r («Marked correlations are significant at $p < ,05000$ »). В данном случае значение коэффициента статистически значимо, поэтому в таблице он автоматически выделен красным цветом.

Correlations (Spreadsheet21)				
Marked correlations are significant at $p < ,05000$				
N=36 (Casewise deletion of missing data)				
Variable	Means	Std.Dev.	I3+I4	I5
I3+I4	0,476758	0,298430	1,000000	0,850923
I5	0,386738	0,240940	0,850923	1,000000

Рисунок 3.8 – Количественный результат корреляционного анализа

На основании проделанной работы установлено, что между такими переменными данными как «дальность маршрута следования поезда» и «количество пассажиров, следующих в более комфортных типах вагонов» существует сильная положительная корреляционная связь ($r = 0,85$, $n = 36$, $p < 0,05$). При этом вариабельность одной переменной способно объяснить 72% вариабельности второй переменной.

Таким образом, корреляционный анализ входных данных показал сильную корреляционную связь между анализируемыми переменными. Результат исследования дает понять, что возможно определение вагонов «нужных» типов в составах поездов в зависимости от установленных переменных данных [83].

Выводы по главе 3

1. Впервые определение закономерности распределения пассажиропотока по типам мест в пассажирских поездах дальнего следования выполнено с помощью кластерного анализа данных по пассажиропотокам. Проведенные исследования позволяют установить не только закономерности распределения пассажиропотока по типам мест в пассажирских поездах

дальнего следования, но и выявить группы маршрутов, на которых можно разработать специальные мероприятия, направленные на привлечение дополнительного пассажиропотока на железнодорожный транспорт.

2. Разработанный алгоритм кластерного анализа данных по пассажиропотокам позволяет установить перспективные схемы составов поездов на любом маршруте следования поезда путем отношения исследуемого маршрута к одному из кластеров (если исследуемый маршрут будет схожим с маршрутами, образующими кластеры) или образования нового кластера (если исследуемый маршрут выходит за границы нормализации) в результате перерасчета данных.

3. Корреляционный анализ маршрутов пассажирских поездов дальнего следования позволяет установить корреляционная связь, показывающая изменчивость одной переменной в соответствии с изменчивостью другой переменной.

4. Корреляционный анализ входных данных показал сильную корреляционную связь между анализируемыми переменными. Результат исследования дает понять, что возможно определение вагонов «нужных» типов в составах поездов в зависимости от установленных переменных данных.

4 ФОРМИРОВАНИЕ МАРШРУТНОЙ СЕТИ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ ДАЛЬНЕГО СЛЕДОВАНИЯ НА ВЫДЕЛЕННОМ ПОЛИГОНЕ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

В данном разделе диссертационного исследования рассмотрено формирование маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования на полигоне железной дороги *Белгород – Льгов – Москва*.

Схема расчетного полигона железной дороги *Белгород – Льгов – Москва* представлена на рисунке 4.1.

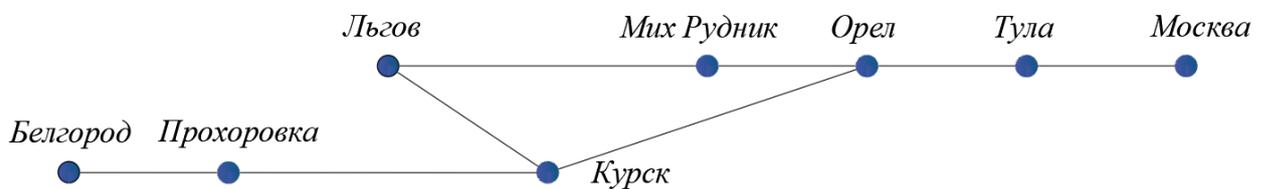


Рисунок 4.1 – Схема расчетного полигона железной дороги *Белгород – Льгов – Москва*

Расстояния (в километрах) между станциями на расчетном полигоне железной дороги *Белгород – Льгов – Москва* представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Расстояния между станциями на расчетном полигоне железной дороги, км

Москва									
Тула	194,9								
Орел	383,6	188,7							
Курск	537,9	343	154,3						
Белгород	697,9	503	314,3	160					
Льгов	582,3	387,4	198,7	77,9	237,9				
Прохоровка	640,9	446	257,3	103	57	180,9			
Мих. Рудник	479,3	284,4	95,7	180,9	340,9	103	283,9		
	Москва	Тула	Орел	Курск	Белгород	Льгов	Прохоровка	Мих. Рудник	

На полигоне железной дороги *Белгород – Льгов – Москва* курсируют 11 пассажирских поездов дальнего следования на 4 маршрутах (*Курск – Льгов – Москва*, *Курск – Москва*, *Москва – Белгород*, *Белгород – Санкт-Петербург*). Данные по этим поездам представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Данные о пассажирских поездах, курсирующих на полигоне железной дороги *Белгород – Льгов – Москва*

№ поезда	Маршрут	Схема состава	Вместимость	Время в пути
141/142	Москва – Льгов – Курск	7 Пл+6К	594	12 ч 01 м
719/720	Москва – Белгород	5 С	350	7 ч 38 м
721/722	Москва – Курск	10 С	614	7 ч 17 м
715/716	Москва – Курск	5 С	350	5 ч 51 м
739/740	Москва – Белгород	10 С	614	7 ч 43 м
741/742	Москва – Белгород	5 С	350	7 ч 43 м
29/30	Санкт-Петербург Белгород	7К+2С	648	7 ч 20 м
81/82	Санкт-Петербург Белгород	8 П+ 5 К + 1 Л	496	8 ч 21 м
71/72	Москва – Белгород	5П+7К+2С	360	9 ч 53 м
109/110	Курск – Москва	3Пл+4К	306	11 ч 44 м
97/98	Курск – Москва	3Пл+2К+1С	234	9 ч 04 м

Шахматка среднемесячных пассажиропотоков на расчетном полигоне железной дороги представлена в таблице 4.3. Для определения необходимого количества поездов, назначением в Москву, учитываются также корреспонденции пассажиропотоков, следующую в крупные пункты Октябрьской железной дороги: Санкт-Петербург, Тверь, Бологое.

Таблица 4.3 – Шахматка среднемесячных пассажиропотоков на расчетном полигоне железной дороги, пасс/мес.

Нач. пункт \ Конеч. пункт	Санкт-Петербург	Москва	Тверь	Бологое	Тула	Орел	Курск	Белгород	Льгов	Прохоровка	Михайлов Рудник
Санкт-Петербург	-	336422	14164	5004	5898	4204	4657	5380	0	0	0
Москва	339570	-	6022	2936	23776	27364	32163	30963	2775	399	3404
Тверь	14439	4667	-	1121	335	184	176	213	0	0	0
Бологое	5233	2861	976	-	24	22	75	38	0	0	0
Тула	5422	23959	339	29	-	1578	1370	1233	47	0	34
Орел	4328	27458	212	19	1476	-	1417	1378	36	0	26
Курск	4800	32365	176	63	1311	1456	-	973	1308	15	2
Белгород	5769	31475	248	38	1216	1430	1018	-	0	50	0
Льгов	0	3063	0	0	36	43	1350	0	-	0	17
Прохоровка	0	448	0	0	0	5	0	45	0	-	0
Михайловский Рудник	0	3495	0	0	34	55	3	0	21	0	-

Мощности значимых струй пассажиропотоков (пасс./сут.) на полигоне железной дороги *Белгород – Льгов – Москва* и их условные обозначения представлены на рисунке 4.2.

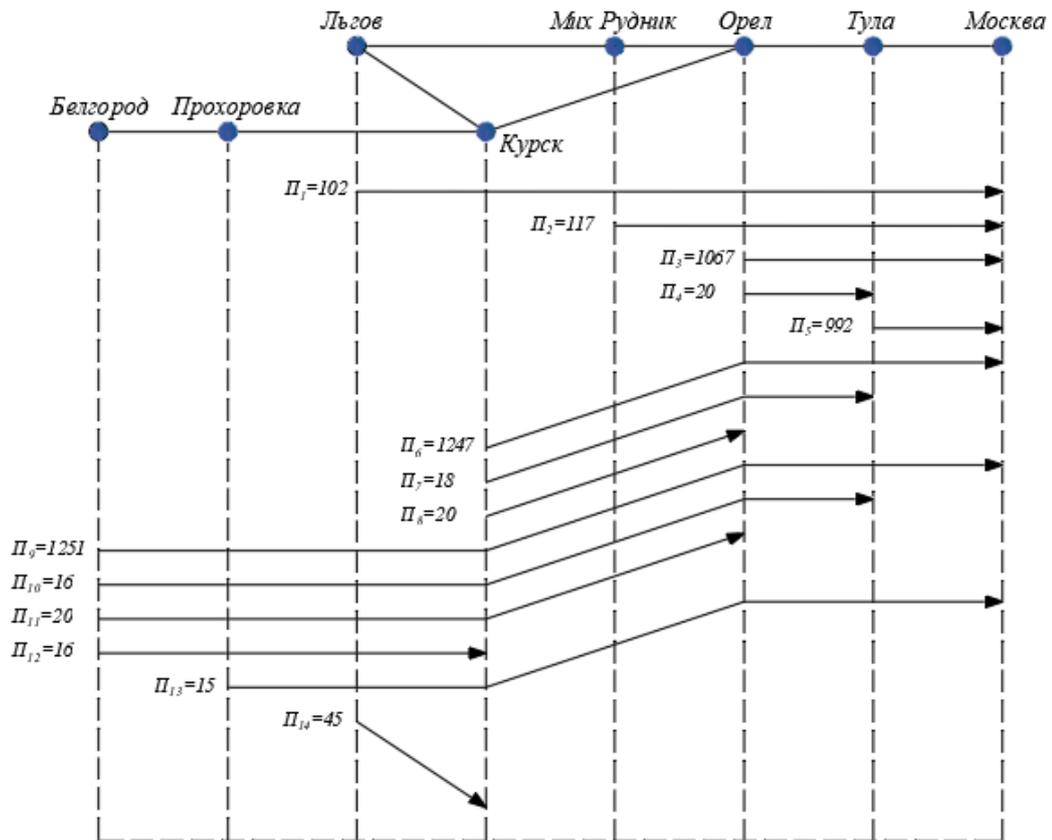


Рисунок 4.2 – Мощности значимых струй пассажиропотоков на полигоне железной дороги *Белгород – Льгов - Москва* и их условные обозначения

Для определения весовых коэффициентов, определяющих выбор типов вагонов в зависимости от дальности маршрута пассажирами используется подход к определению закономерностей распределения пассажиропотока по типам мест, представленный в пункте 3.1.2. Данные для исследования (таблица 4.4) характеризуют выбор типов вагонов пассажирами на Московской и Юго-Восточной железных дорогах за 2021 год на различных маршрутах следования поездов. Условные обозначения следующие: «*К*» – купейные вагоны; «*Л*» – вагоны класса «Люкс»; «*П*» – плацкартные вагоны; «*С*» – вагоны с местами для сидения.

Таблица 4.4 – Распределение пассажиропотоков по типам мест в зависимости от дальности маршрута

Нач. пункт	Конеч. пункт	Дальность, км	Тип вагона			
			К	Л	П	С
Москва	Курск	587,8	52 846	3 148	138 570	191 386
	Орел	399,9	23 505	537	79 469	224 843
	Тула	201,1	10 876	179	21 303	252 786
	Михайлов Руд	482	8 474	0	29 254	3 119
	Льгов	585,1	4 844	0	26 888	1 568
	Белгород	701,9	58 004	6 799	158 518	148 234
	Ст. Оскол	666,6	16 465	1 918	40 843	271
	Елец	463,1	6 257	432	15 800	21
	Узловая	308,3	1 113	35	2 652	4
	Ожерелье	123,1	42	3	26	14
	Касторная	709,1	228	26	1 428	1
Курск	Москва	548,4	52 180	3 997	142 764	189 402
	Орел	154,3	1 141	6	1 786	14 542
	Тула	343,2	544	5	3 282	11 902
	Михайлов Руд	180,8	0	0	3	19
	Льгов	77,9	300	0	759	235
	Белгород	160	278	3	1 702	9 694
	Ст. Оскол	182,6	7	0	88	30
	Касторная	154,5	15	0	36	0
Орел	Москва	387,9	25 256	749	83 123	220 268
	Курск	160,2	1 766	2	1 811	13 421
	Тула	188,7	632	0	1 855	15 228
	Михайлов Руд	94,9	8	0	86	217
	Льгов	198,4	115	0	212	110
	Белгород	314	556	8	2 989	12 977
	Ст. Оскол	337,6	50	0	413	118
	Елец	190,6	22	0	50	0
	Касторная	305	1	0	29	0
Тула	Москва	194,9	10 456	146	25 462	250 562
	Курск	345,2	838	6	3 446	12 153
	Орел	189	1 099	3	2 014	15 820
	Михайлов Руд	284,6	56	0	244	110
	Льгов	387,9	64	0	426	71
	Белгород	503	1 024	39	4 251	9 479
	Ст. Оскол	525,4	172	3	791	55
	Елец	256,5	62	0	204	0
	Узловая	57,4	127	0	79	0
	Касторная	497,6	5	0	33	0
Михайлов Руд	Москва	479,7	8 794	0	29 068	4 080
	Курск	180,6	2	0	4	25
	Орел	95,9	13	0	130	511
	Тула	285	28	0	170	205
	Льгов	103,4	95	0	33	123
Льгов	Москва	582,5	4 791	0	29 867	2 098
	Курск	77,9	70	0	83	21
	Орел	198,6	239	0	123	149
	Тула	387,4	46	0	236	146
	Михайлов Руд	102,8	9	0	24	176

Продолжение таблицы 4.4

Белгород	Москва	700,9	57 574	6 826	164 764	153 911
	Курск	160	254	2	1 676	10 285
	Орел	314	386	11	2 456	14 307
	Тула	503	693	20	3 854	10 019
	Ст. Оскол	187,2	41	13	447	0
	Елец	373,7	76	1	339	0
	Узловая	570	24	0	64	0
	Ожерелье	681,5	2	0	29	0
	Касторная	251,3	2	0	18	0
Старый Оскол	Москва	660,4	16 672	2 067	42 072	246
	Курск	180,9	29	0	53	45
	Орел	336,6	29	1	384	107
	Белгород	186,9	28	0	538	0
	Елец	186,5	19	0	181	0
	Узловая	387,8	29	0	149	0
	Ожерелье	489,9	37	0	36	0
	Касторная	63,3	10	0	13	0
Елец	Москва	434,7	5 887	503	15 223	1
	Орел	185,4	7	0	23	0
	Тула	256,7	47	0	264	0
	Белгород	373,9	54	1	293	0
	Ст. Оскол	187	20	0	239	0
	Узловая	206,9	63	0	460	0
	Ожерелье	304,6	12	0	87	0
	Касторная	121,6	1 292	0	17	0
Узловая	Москва	252,3	0	27	3 115	0
	Тула	57,4	0	0	64	0
	Белгород	576,4	13	0	83	1
	Ст. Оскол	385,6	54	0	136	3
	Елец	199,2	0	0	358	0
	Ожерелье	109,2	87	0	31	0
	Касторная	330,5	2	0	13	0
Ожерелье	Москва	125,9	0	0	44	6
	Курск	498	0	0	2	0
	Тула	155	0	0	1	0
	Белгород	658	18	0	7	0
	Елец	305,3	0	0	152	0
	Узловая	106,2	0	0	16	0
Касторная	Москва	719,5	230	37	1 318	3
	Курск	151	6	0	20	0
	Орел	305,2	2	0	26	0
	Тула	485,3	0	0	27	0
	Белгород	252	0	0	4	0
	Ст. Оскол	65	1	0	5	0
	Елец	121,3	0	0	15	0
	Узловая	321,1	0	0	24	0

На основе таблицы 4.4 формируется таблица 4.5 с весовыми коэффициентами, определяющие выбор типов вагонов пассажирами в зависимости от дальности маршрутов следования поездов.

Таблица 4.5 – Результат определения весовых коэффициентов, определяющие выбор типов вагонов пассажирами в зависимости от дальности маршрутов следования поездов

Маршрут	Тип вагона	Весовой коэффициент
Льгов – Москва Мих. Рудник – Москва Белгород – Тула	П	0,69
	Л	0,01
	К	0,22
	С	0,08
Орел – Москва Тула – Москва	П	0,16
	Л	0,00
	К	0,06
	С	0,78
Орел – Тула Курск – Тула Курск – Орел Белгород – Орел Белгород – Курск	П	0,19
	Л	0,00
	К	0,08
	С	0,73
Курск – Москва Белгород – Москва Прохоровка – Москва	П	0,39
	Л	0,01
	К	0,15
	С	0,45
Курск – Льгов	П	0,15
	Л	0
	К	0
	С	0,85

Распределение пассажиропотоков по назначениям по существующей маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования представлено в таблице 4.6. При этом, показатели использования вместимости поездов по категориям вагонов представлены на рисунках 4.3 – 4.6.

Таблица 4.6 – Распределение пассажиропотоков по назначениям (существующая маршрутная сеть)

Поездные назначения Пассажиропотоки		$x_l = 1$				$x_6 = 4$				$x_9 = 6$			
		П=7	Л=0	К=6	С=0	П=6	Л=0	К=6	С=16	П=13	Л=1	К=16	С=24
П ₁ =102	П=70	70	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Л=1	0	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=23	0	-	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	С=8	4	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
П ₂ =117	П=81	81	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Л=1	0	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=25	0	-	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	С=10	5	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
П ₃ =1067	П=171	0	-	0	-	128	-	0	43	0	0	0	0
	Л=0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=64	0	-	48	-	0	-	0	16	0	0	0	0
	С=832	0	-	82	-	0	-	0	750	0	0	0	0
П ₄ =20	П=4	4	-	0	-	0	-	0	0	0	0	0	0
	Л=0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=2	0	-	0	-	0	-	2	0	0	0	2	0
	С=14	0	-	6	-	0	-	0	8	0	0	0	0
П ₅ =992	П=158	56	-	0	-	2	-	0	0	100	0	0	0
	Л=0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=60	12	-	27	-	0	-	21	0	0	0	0	0
	С=774	150	-	0	-	0	-	0	16	0	0	0	608

Продолжение таблицы 4.6

П ₆ =1247	П=486	-	-	-	-	194	-	57	10	225	0	0	0
	Л=13	-	-	-	-	0	-	0	0	0	10	0	3
	К=187	-	-	-	-	0	-	0	0	37	0	150	0
	С=561	-	-	-	-	0	-	0	186	0	0	0	375
П ₇ =18	П=3	-	-	-	-	0	-	0	0	3	0	0	0
	Л=0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=2	-	-	-	-	0	-	2	0	0	0	0	0
	С=13	-	-	-	-	0	-	0	5	8	0	0	0
П ₈ =20	П=4	-	-	-	-	4	0	0	0	0	0	0	0
	Л=0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=2	-	-	-	-	0	-	1	1	0	0	0	0
	С=14	-	-	-	-	0	-	0	14	0	0	0	0
П ₉ =1266	П=488	-	-	-	-	-	-	-	-	330	0	158	0
	Л=12	-	-	-	-	-	-	-	-	0	8	4	0
	К=187	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	187	0
	С=564	-	-	-	-	-	-	-	-	5	0	208	356
П ₁₀ =16	П=11	-	-	-	-	-	-	-	-	6	0	5	0
	Л=0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=3	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	3	0
	С=2	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	2
П ₁₁ =20	П=2	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0	0	0
	Л=0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	1	0
	С=14	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	14

Продолжение таблицы 4.6

П ₁₂ =16	П=2	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0	0	0
	Л=0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=2	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	2	0
	С=12	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	12
П ₁₃ =15	П=6	-	-	-	-	-	-	-	-	4	0	2	0
	Л=0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=3	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	3	0
	С=6	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	2	4
П ₁₄ =45	П=7	7	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Л=0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	С=38	38	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-

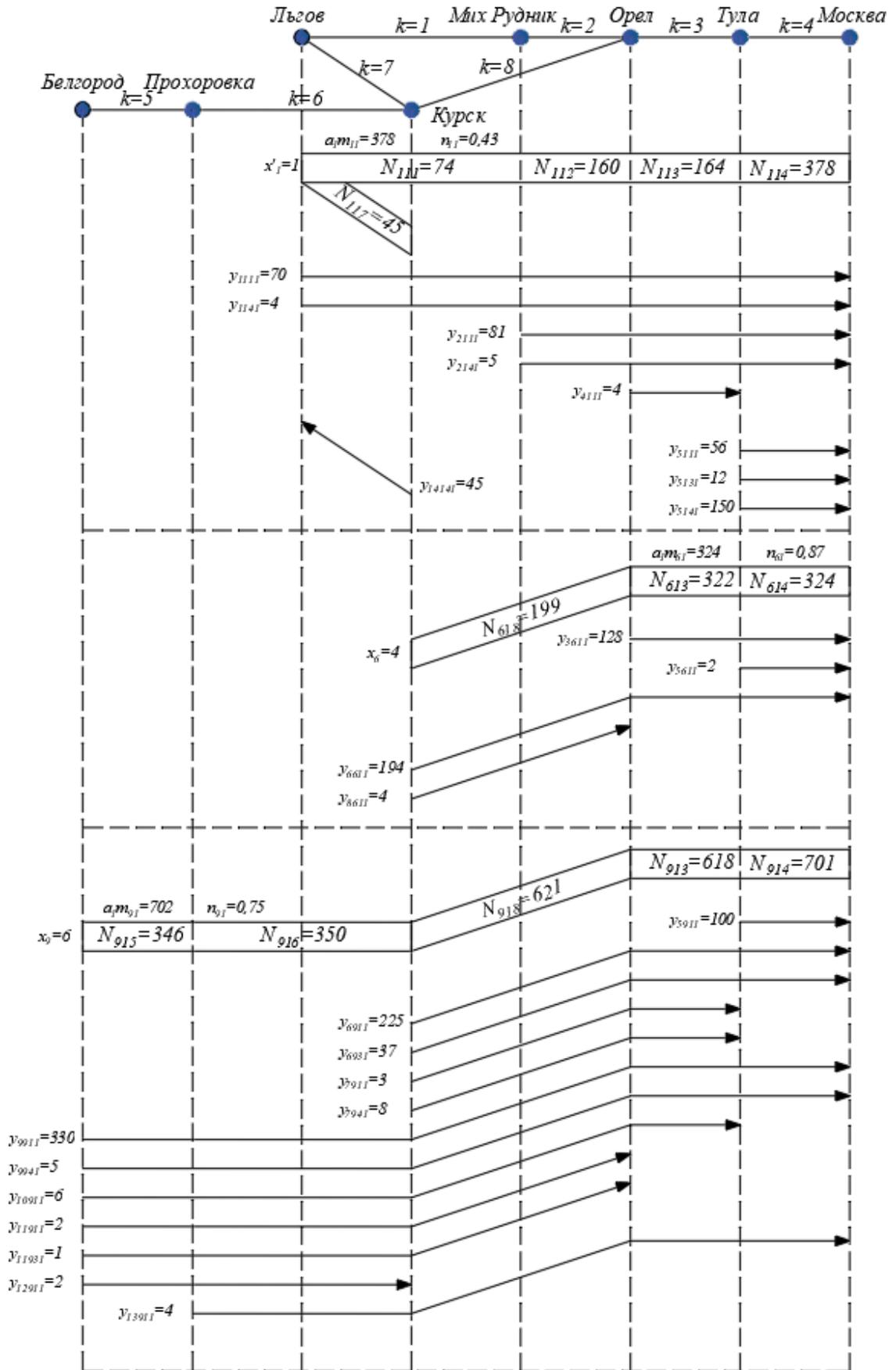


Рисунок 4.3 – Показатели использования вместимости плацкартных вагонов на расчетном полигоне следования пассажирских поездов

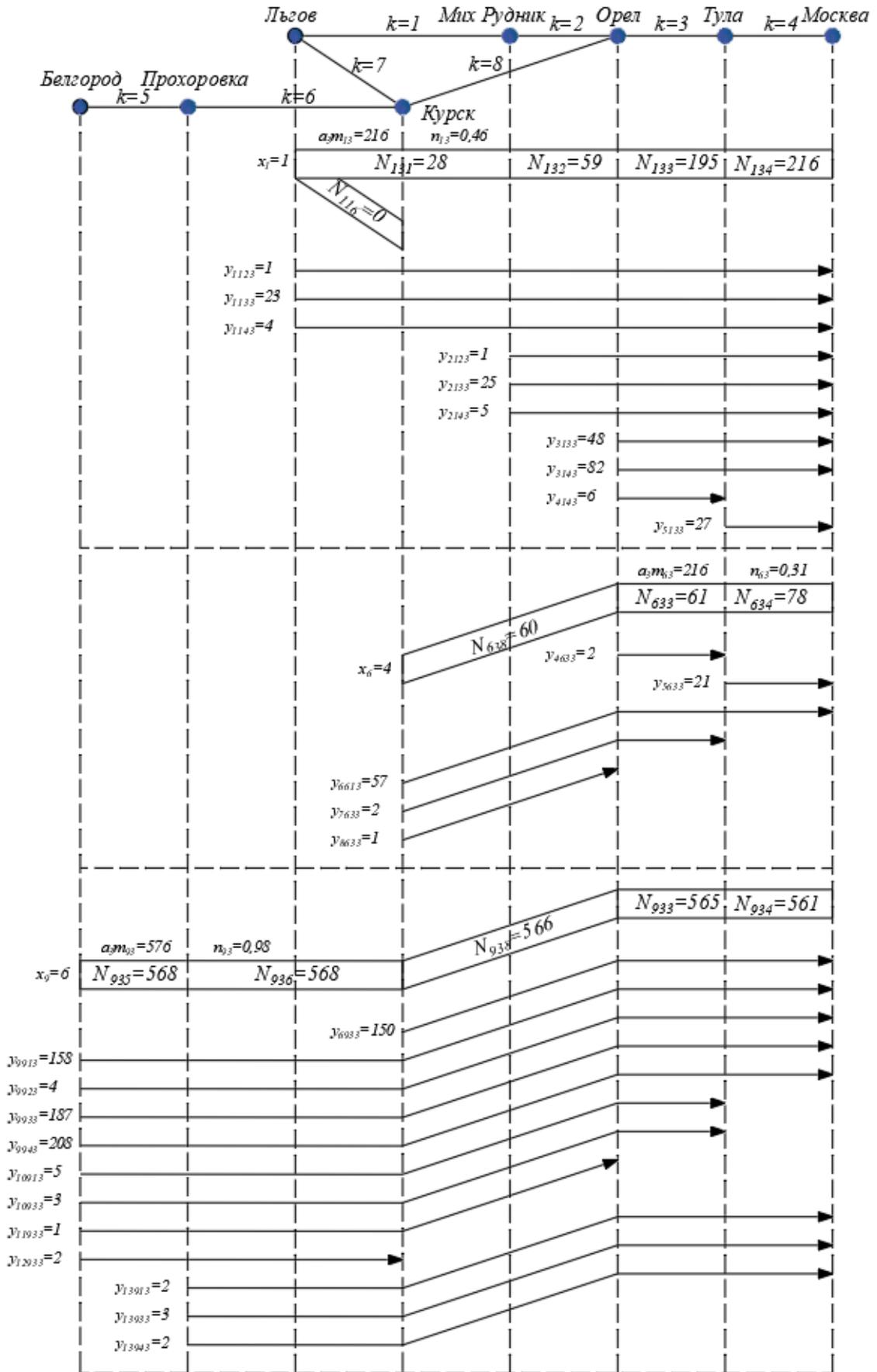


Рисунок 4.4 – Показатели использования вместимости купейных вагонов на расчетном полигоне следования пассажирских поездов

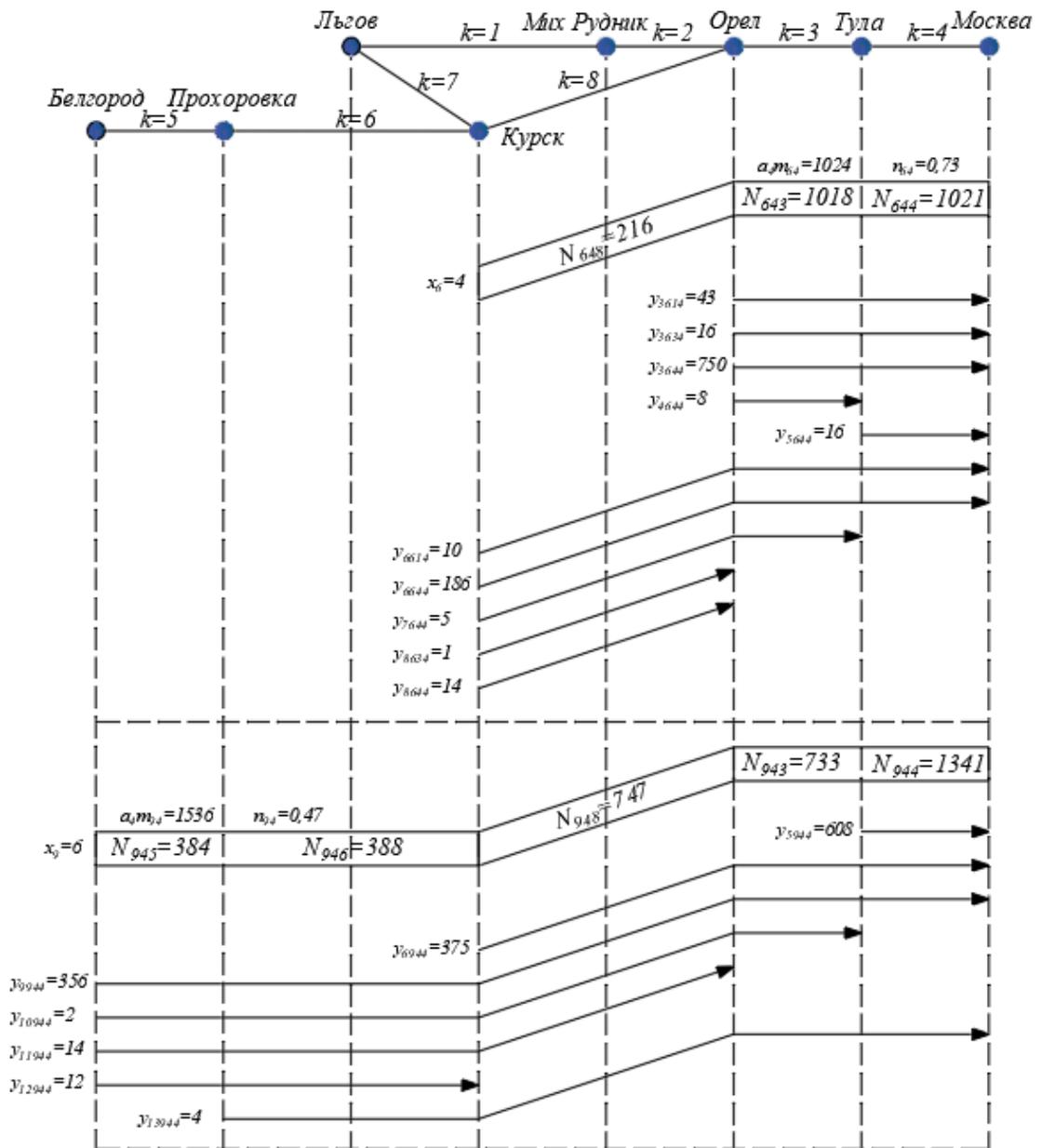


Рисунок 4.5 – Показатели использования вместимости вагонов с местами для сидения на расчетном полигоне следования пассажирских поездов

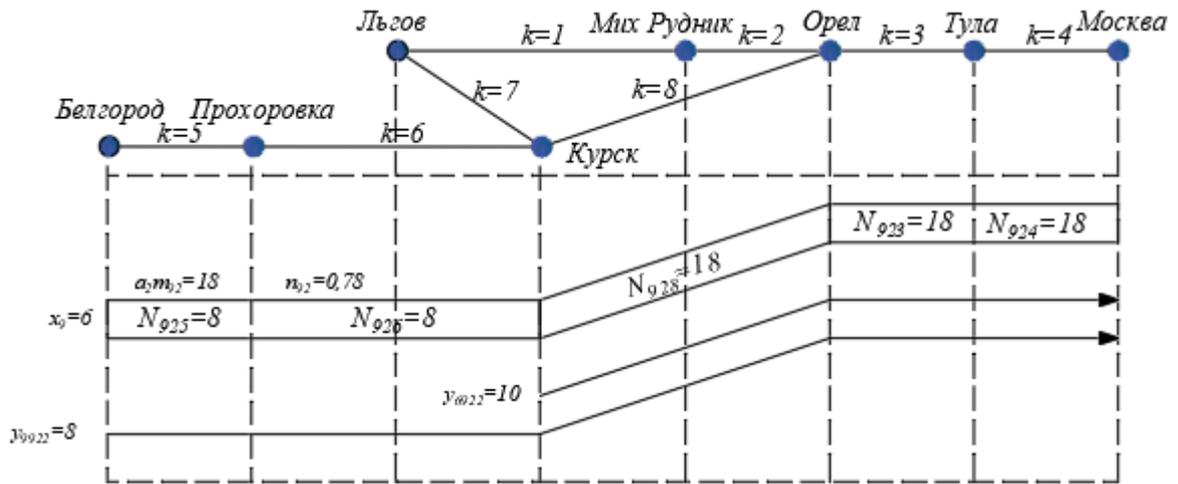


Рисунок 4.6 – Показатели использования вместимости вагонов класса «Люкс» на расчетном полигоне следования пассажирских поездов

Из рисунков (4.3–4.6) видно, что на участке *Белгород–Курск* наблюдается избыточное число вагонов, в связи с чем населенность вагонов на этом участке крайне мала. Кроме того, существенные различия в населенности вагонов свидетельствуют, что схемы составов пассажирских поездов сформированы не в соответствии со структурой пассажиропотока. Исследование маршрута следования поезда «Курск–Львов–Москва» показало, что он является наименее привлекательным для пассажиров, следующих из Курска в Москву, из-за продолжительности поездки (12 часов вместо 7 часов).

В связи с этим предлагается оптимизировать маршрут пассажирских поездов дальнего следования на полигоне *Белгород–Львов–Москва* путем упразднения поезда «Курск–Львов–Москва» и формирования поездов «Львов–Москва» и «Львов–Курск»; использования математической модели расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования и определения схем составов поездов, представленной в пункте 2.3.2. Распределение пассажиропотоков по назначениям с учетом предложенных мероприятий представлено в таблице 4.7. При этом, показатели использования вместимости поездов по категориям вагонов представлены на рисунках 4.7 – 4.10.

Таблица 4.7 – Распределение пассажиропотоков по назначениям (предлагаемая маршрутная сеть)

Поездные назначения		$x_1' = 1$				$x_6 = 4$				$x_9 = 4$				$x_{14} = 1$
		П=4	Л=0	К=3	С=1	П=14	Л=1	К=8	С=25	П=9	Л=1	К=10	С=15	С=1
П ₁ =102	П=70	70	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Л=1	0	-	1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=23	0	-	23	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	С=8	0	-	0	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
П ₂ =117	П=81	81	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Л=1	0	-	1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=25	0	-	25	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	С=10	2	-	0	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
П ₃ =1067	П=171	0	-	0	0	132	0	0	0	30	0	9	0	-
	Л=0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=64	0	-	9	0	0	0	50	0	0	0	5	0	-
	С=832	9	-	30	48	0	0	0	300	0	0	0	445	-
П ₄ =20	П=4	0	-	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	-
	Л=0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=2	0	-	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
	С=14	0	-	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	-
П ₅ =992	П=158	0	-	0	0	148	0	0	0	10	0	0	0	-
	Л=0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=60	0	-	2	0	0	0	3	0	0	0	55	0	-
	С=774	36	-	0	0	2	0	0	736	0	0	0	0	-

Продолжение таблицы 4.7

П ₆ =1247	П=486	-	-	-	-	463	0	23	0	0	0	0	0	-
	Л=13	-	-	-	-	0	13	0	0	0	0	0	0	-
	К=187	-	-	-	-	0	1	186	0	0	0	0	0	-
	С=561	-	-	-	-	0	0	26	535	0	0	0	0	-
П ₇ =18	П=3	-	-	-	-	3	0	0	0	0	0	0	0	-
	Л=0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=2	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	2	0	-
	С=13	-	-	-	-	1	0	0	12	0	0	0	0	-
П ₈ =20	П=4	-	-	-	-	4	0	0	0	0	0	0	0	-
	Л=0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=2	-	-	-	-	0	0	2	0	0	0	0	0	-
	С=14	-	-	-	-	0	0	0	14	0	0	0	0	-
П ₉ =1266	П=488	-	-	-	-	-	-	-	-	439	5	44	0	-
	Л=12	-	-	-	-	-	-	-	-	0	12	0	0	-
	К=187	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	187	0	-
	С=564	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	57	507	-
П ₁₀ =16	П=11	-	-	-	-	-	-	-	-	11	0	0	0	-
	Л=0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=3	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	3	0	-
	С=2	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	2	-
П ₁₁ =20	П=2	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0	0	0	-
	Л=0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=2	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	2	0	-
	С=14	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	14	-

Продолжение таблицы 4.7

П ₁₂ =16	П=2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	0	0	-
	Л=0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=2	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	2	0	-
	С=12	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	12	-
П ₁₃ =15	П=6	-	-	-	-	-	-	-	-	6	0	0	0	-
	Л=0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=3	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	3	0	-
	С=6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-
П ₁₄ =45	П=7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
	Л=0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	К=0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	С=38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38

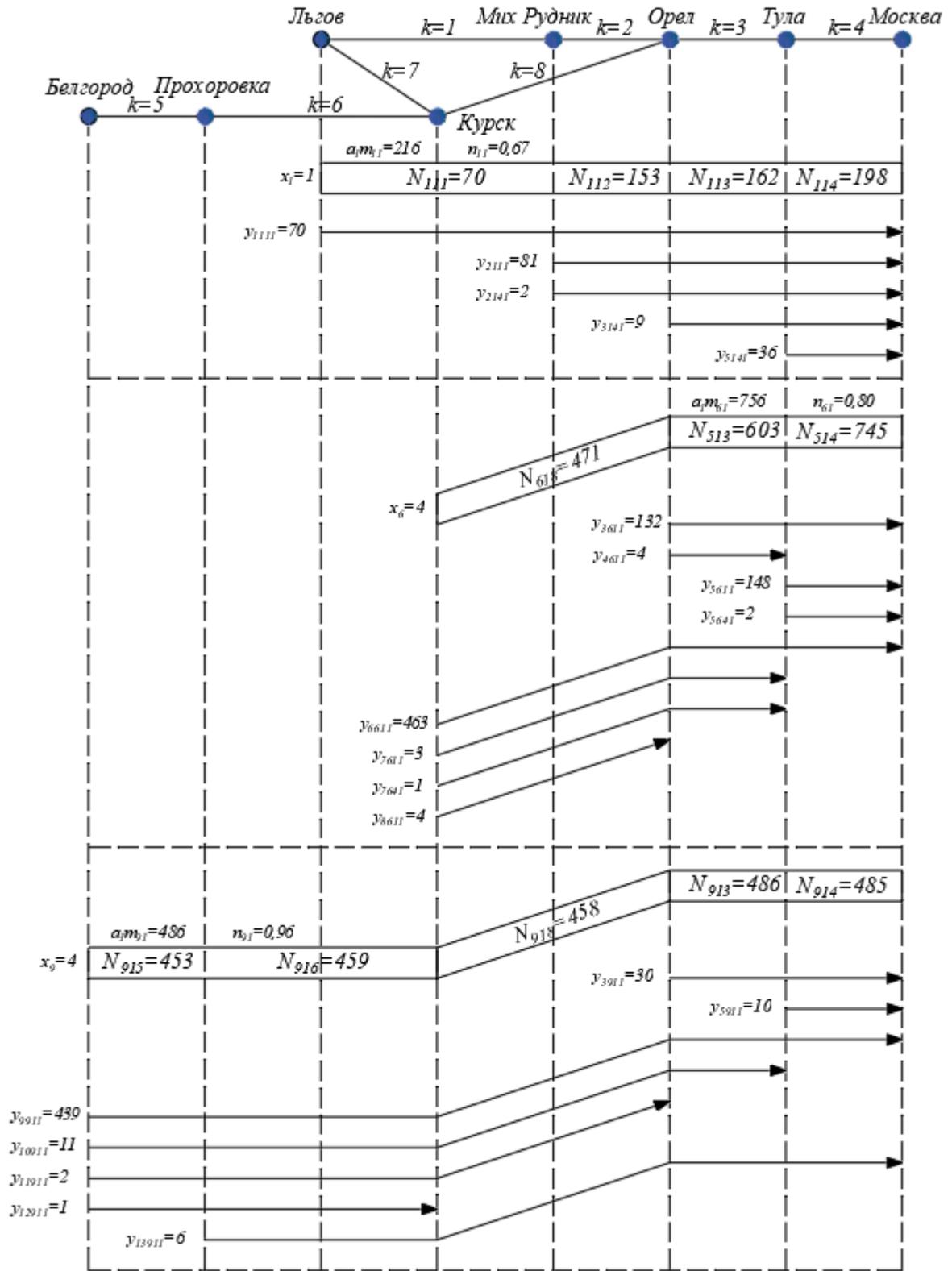


Рисунок 4.7 – Показатели использования вместимости плацкартных вагонов на расчетном полигоне следования пассажирских поездов

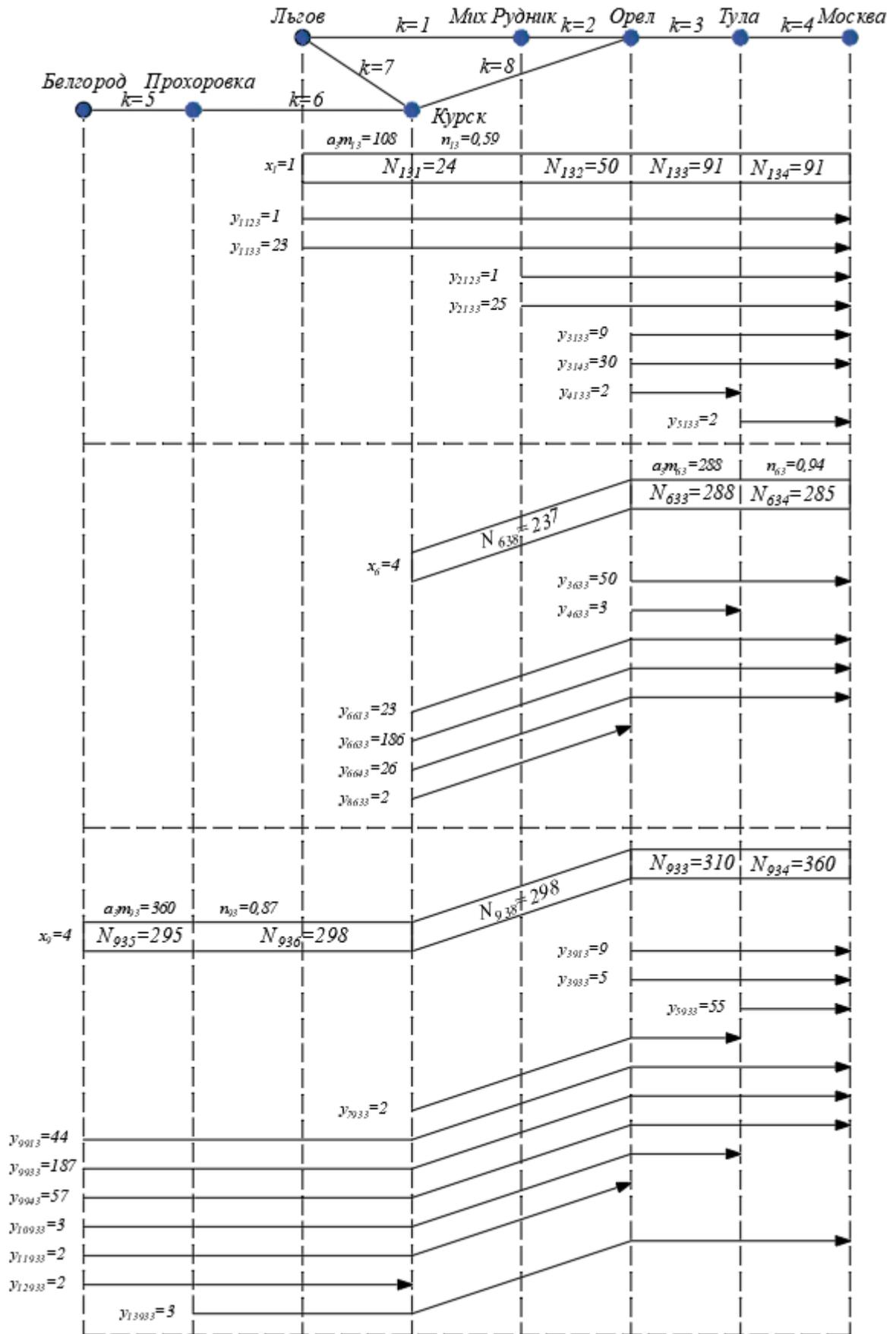


Рисунок 4.8 – Показатели использования вместимости купейных вагонов на расчетном полигоне следования пассажирских поездов

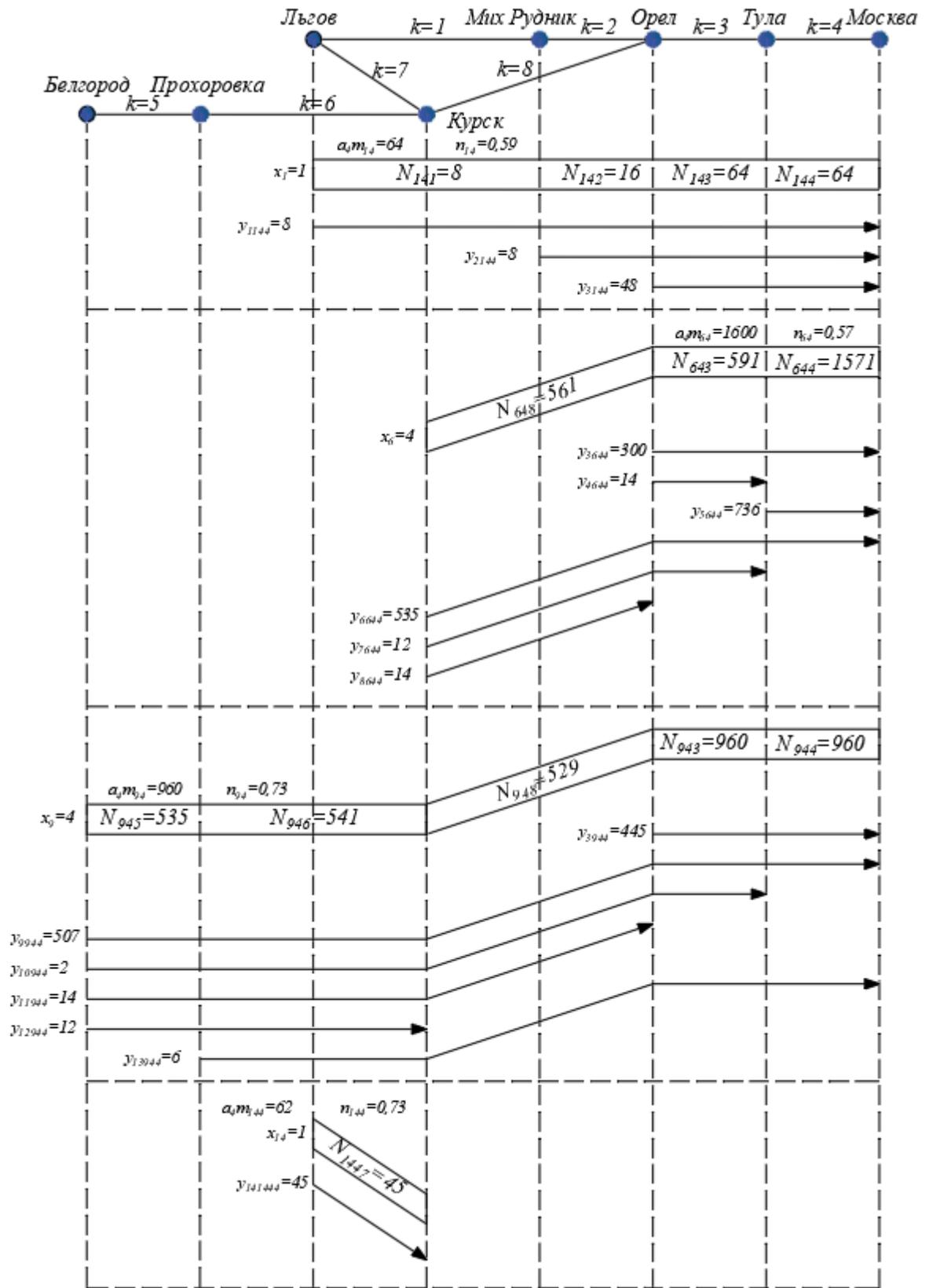


Рисунок 4.9 – Показатели использования вместимости вагонов с местами для сидения на расчетном полигоне следования пассажирских поездов

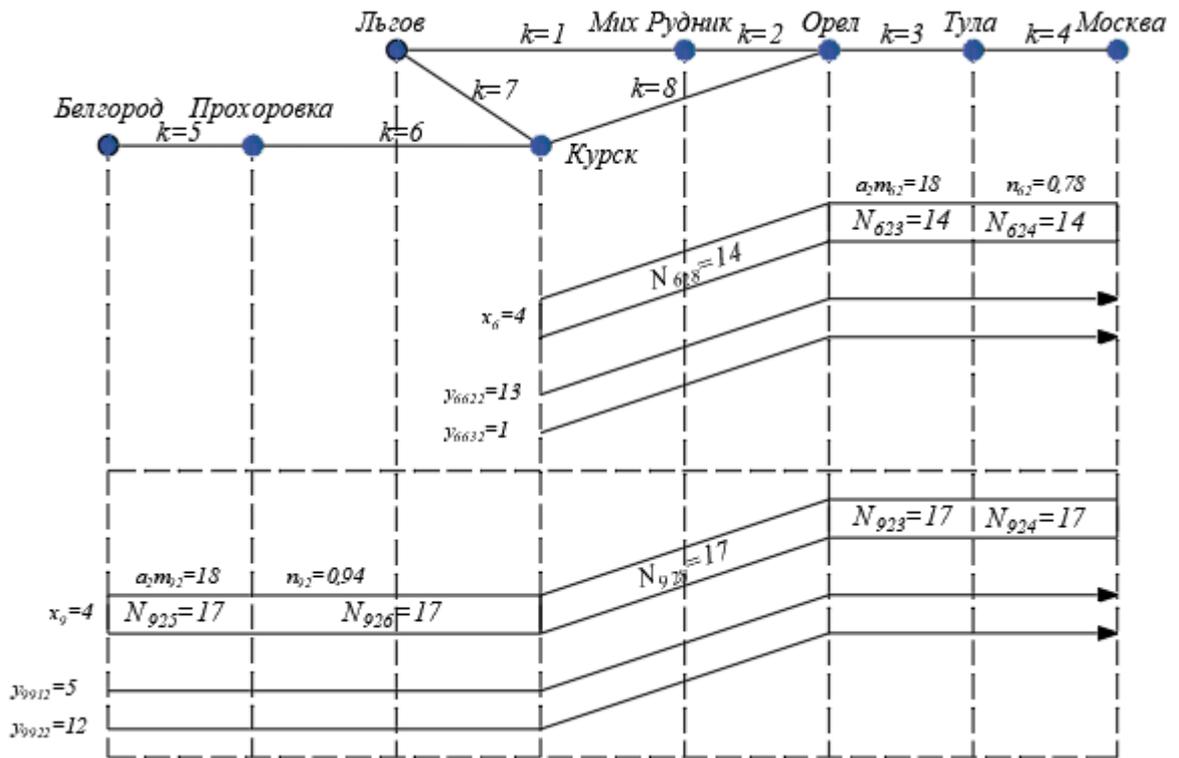


Рисунок 4.10 – Показатели использования вместимости вагонов класса «Люкс» на расчетном полигоне следования пассажирских поездов

Из рисунков (4.7–4.10) видно, в вагонах различных категорий коэффициенты населенности схожи между собой и наблюдается рациональное использование подвижного состава. Следует отметить, что упразднение маршрута следования поезда «Курск–Льгов–Москва» и формирование маршрутов «Льгов – Москва» и «Льгов – Курск» позволит повысить населенность поезда и, таким образом, улучшить показатели использования подвижного состава. К примеру, на участке *Льгов – Курск* населенность поезда увеличится более чем в 9 раз.

Экономические показатели существующей и предлагаемой маршрутных сетей пассажирских поездов дальнего следования на расчетном полигоне железной дороги *Белгород – Льгов – Москва* представлены в таблицах 4.8 и 4.9.

Таблица 4.8 – Экономические показатели существующей маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования

Маршрут	Схема состава	Доход, тыс. руб	Расходы, тыс. руб	Прибыль, тыс. руб.
Москва – Льгов – Курск	7 П+6К	971,30	1233,51	-262,21
Москва – Белгород	5 С	367,67	674,59	-306,92
Москва – Курск	10 С	556,33	764,62	-208,29
Москва – Курск	5 С	278,17	605,55	-327,38
Москва – Белгород	10 С	535,33	858,99	-323,66
Москва – Белгород	5 С	367,67	674,59	-306,92
Санкт-Петербург – Белгород	7К+4С	965,10	806,61	158,49
Санкт-Петербург – Белгород	8П + 5К + 1Л	1343,74	931,79	411,95
Москва – Белгород	5П+7К	879,09	844,63	34,46
Курск – Москва	3П+4К	414,50	576,43	-161,93
Курск – Москва	3П+2К+1С	390,40	541,39	-150,99
Итого		7069,30	8512,70	-1443,40

Таблица 4.9 – Экономические показатели предлагаемой маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования

Маршрут	Схема состава	Доход, тыс. руб	Расходы, тыс. руб	Прибыль, тыс. руб.
Москва – Льгов	2П+2К+1С	531,10	1013,52	-482,42
Москва – Белгород	5 С	294,80	674,59	-379,79
Москва – Курск	10 С	570,08	764,62	-194,54
Москва – Курск	10 С	570,08	764,62	-194,54
Москва – Белгород	5 С	294,80	674,59	-379,79
Санкт-Петербург Белгород	5П+ 5К + 3 С	1093,33	878,27	215,06
Москва – Белгород	4П+1Л+5К+2С	1030,77	857,11	173,66
Курск – Москва	7П+1Л+4К+2С	981,22	813,62	167,60
Курск – Москва	7П+4К+3С	975,22	800,08	175,14
Льгов – Курск	1С	9,13	174,13	-165,00
Итого		6350,4	7415,15	-1064,62

Убыточность пассажирских перевозок в дальнем следовании по существующей маршрутной сети составляет *1443,4 тыс. руб.*, а по предлагаемой – *1064,62 тыс. руб.*

Сравнительные результаты существующей и предлагаемой маршрутных сетей пассажирских поездов дальнего следования на полигоне железной дороги *Белгород – Льгов – Москва* представлены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Сравнительные результаты существующей и предлагаемой маршрутных сетей пассажирских поездов дальнего следования на полигоне железной дороги *Белгород – Льгов – Москва*

Маршрут	Обозн. маршрута	Существующая маршрутная сети						Предлагаемая маршрутная сети					
		Число поездов	Число вагонов				Коэф. исп. вмес-ти	Число поездов	Число вагонов				Коэф. исп. вмес-ти
			П	Л	К	С			П	Л	К	С	
<i>Льгов – Москва</i>	x_1'	0	-	-	-	-	-	1	4	0	3	1	0,62
<i>Орел – Москва</i>	x_2	0	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-
<i>Орел – Тула</i>	x_3	0	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-
<i>Тула – Москва</i>	x_4	0	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-
<i>Курск – Москва</i>	x_5	4	6	-	6	16	0,64	4	14	1	8	25	0,77
<i>Курск – Тула</i>	x_6	0	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-
<i>Курск – Орел</i>	x_7	0	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-
<i>Белгород – Москва</i>	x_8	6	13	1	16	24	0,74	4	9	1	10	15	0,88
<i>Белгород – Тула</i>	x_9	0	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-
<i>Белгород – Орел</i>	x_{10}	0	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-
<i>Белгород – Курск</i>	x_{11}	0	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-
<i>Льгов – Курск</i>	x_{12}	0	-	-	-	-	-	1*	0	0	0	1*	0,73
<i>Курск – Льгов – Москва</i>	x_1	1	7	-	6	-	0,45	0	-	-	-	-	-
Итого		11	26	1	28	40	0,68	10(9+1*)	27	2	21	41+1*	0,80
Значение целевой функции, тыс. руб.	Существующая маршрутная сети							-1443,4					
	Предлагаемая маршрутная сети							-1064,75					

*-рельсовый автобус

Результаты определения маршрутов пассажирских поездов дальнего следования на полигоне железной дороги Белгород–Льгов–Москва показывают эффективность использования математической модели расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования и определения схем составов поездов, так как убыточность пассажирских перевозок в дальнем следовании на расчетном полигоне железной дороги *Белгород – Льгов – Москва* сократится более чем на 25%. Кроме того, полученные в ходе настоящего исследования коэффициенты использования вместимости поездов дают понять, что по предлагаемой маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования показатели использования подвижного состава улучшатся, так как населенность поездов увеличится на 17,6%.

Выводы по главе 4

1. Выполнена апробация предложенных моделей формирования маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования на полигоне железной дороги *Белгород – Льгов – Москва*. В результате исследования определена значимость математических моделей расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования по факторам учета предпочтений пассажиров по выбору поездов и предложены различные мероприятия, направленные на совершенствование маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования на полигоне *Белгород – Льгов – Москва*.

2. Оценка существующих маршрутов следования поездов позволила упразднить маршрут следования поезда «*Курск–Льгов–Москва*» и сформировать маршруты «*Льгов – Москва*» и «*Льгов – Курск*» и, таким образом, повысить населенность поездов на участках маршрута следования и рациональнее использовать подвижный состав.

3. Использование математической модели расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования и определения схем составов поездов позволило наблюдать на полигоне *Белгород – Льгов – Москва* значительный экономический эффект, направленный на уменьшение убыточности пассажирских перевозок в дальнем следовании более чем на 25%.

4. Полученные результаты свидетельствуют, что населенность поездов на полигоне *Белгород – Льгов – Москва* увеличится на 17,6% путем использования математической модели расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования и определения схем составов поездов, предложенной в настоящем диссертационном исследовании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработанная методика расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования с учетом предпочтений пассажиров по выбору поездов позволяет установить распределение пассажиропотока по типам мест в составах поездов и определить требуемое количество пассажирских поездов дальнего следования на участке железной дороги.

2. Разработанные математические модели для формирования маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования с обеспечением выполнения беспересадочных сообщений для основного потока пассажиров окажут положительное влияние на спрос в сегменте пассажирских перевозок дальнего следования и таким образом повысится конкурентоспособность железнодорожного транспорта с другими видами транспорта.

3. Современное состояние применения математических моделей расчета маршрутной сети пассажирских поездов позволяет сделать вывод, что при формировании маршрутов следования пассажирских поездов отсутствует системный инструмент принятия решений в условиях неопределенности и многофакторности пассажиров. Возникает необходимость перевода данных в точный количественный показатель для формирования маршрутов пассажирских поездов с учетом предпочтений пассажиров.

4. Учет предпочтений пассажиров при формировании маршрутов пассажирских поездов дальнего следования способствует повышению уровня удовлетворенности спроса пассажиров на перевозки и переходу части пассажиропотока с альтернативных видов транспорта на железнодорожный, а это, в свою очередь, положительно отразится на доходе (выручке от продажи билетов) компаний-перевозчиков.

5. Методика расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования с учетом предпочтений пассажиров по выбору поездов на расчетном участке железной дороги позволяет адаптировать задачу определения требуемого количества пассажирских поездов на расчетном

участке с учетом колебаний пассажиропотоков при различных условиях эксплуатации железных дорог.

6. Впервые определение закономерности распределения пассажиропотока по типам мест в пассажирских поездах дальнего следования выполнено с помощью кластерного анализа данных по пассажиропотокам. Проведенные исследования позволяют установить не только закономерности распределения пассажиропотока по типам мест в пассажирских поездах дальнего следования, но и выявить группы маршрутов, на которых можно разработать специальные мероприятия, направленные на привлечение дополнительного пассажиропотока на железнодорожный транспорт.

7. Разработанный алгоритм кластерного анализа данных по пассажиропотокам позволяет установить перспективные схемы составов поездов на любом маршруте следования поезда путем отношения исследуемого маршрута к одному из кластеров (если исследуемый маршрут будет схожим с маршрутами, образующими кластеры) или образования нового кластера (если исследуемый маршрут выходит за границы нормализации) в результате перерасчета данных.

8. Корреляционный анализ маршрутов пассажирских поездов дальнего следования позволяет установить корреляционная связь, показывающая изменчивость одной переменной в соответствии с изменчивостью другой переменной. Наличие сильной корреляционной связи позволит определить «нужные» типы вагонов в составах поездов при известной дальности маршрутов следования пассажирских поездов.

9. Апробация предложенных математических моделей расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования по факторам учета предпочтений пассажиров по выбору поездов на полигоне железной дороги *Белгород–Льгов–Москва* показала их высокую эффективность, так как уменьшается убыточность пассажирских перевозок в дальнем следовании более чем на 25% и повышается населенность поездов на 17,6%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверкин, А.Н. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта/ А.Н. Аверкин, И.З. Батыршин, А.Ф. Блишун, В.Б. Силов, В.Б. Тарасов; под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, – 1986. – 312 с.

2. Алексеев, В.М. Построение архитектуры интеллектуальной системы управления городской рельсовой транспортной системой / В.М. Алексеев, Л.А. Баранов, М.А. Кулагин, В.Г. Сидоренко // Мир транспорта. – 2021. – Т. 19. – № 1 (92). – С. 18–46.

3. Алпысова, В.А. Моделирование и прогнозирование пассажиропотока высокоскоростной магистрали на примере поездов "Сапсан" направления Санкт-Петербург – Москва / В.А. Алпысова, Н.С. Бушуев, Д.О. Миненко // Транспорт Урала. – 2014. – № 2(41). – С. 50–53.

4. Апатцев, В.И. Устойчивое управление движением поездов / В.И. Апатцев, В.Ю. Горелик, И.А. Журавлев // Наука и техника транспорта. – 2018. – № 3. – С. 20–23.

5. Апатцев, В.И. О новом подходе к разработке графика движения поездов на сети железных дорог / В.И. Апатцев, М.Г. Лысиков, А.М. Ольшанский // Современные подходы к управлению на транспорте и в логистике: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 10 – 11 февраля 2016 года. – Москва: Московский государственный университет путей сообщения. – 2016. – С. 6–8.

6. Баранов, Л.А. Подходы к моделированию пассажиропотоков в рамках функционирования интеллектуальной системы управления городскими рельсовыми транспортными системами / Л.А. Баранов, В.Г. Сидоренко, Л.Н. Логинова // Автоматика на транспорте. – 2021. – Т. 7. – № 4. – С. 539–564. – DOI 10.20295/2412–9186–2021–7–4–539–564.

7. Баранов, Л.А. Методы повышения безопасности движения поездов городских железных дорог в условиях централизованного автоматического

управления / Л.А. Баранов, Е.П. Балакина // Материалы XXVIII международной научной конференции "Проблемы управления безопасностью сложных систем". Под общей редакцией А.О. Калашникова, В.В. Кульбы. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 16 декабря 2020. – С. 297–302.

8. Баранов, Л.А. Перспективы использования многофункциональных моделей / Л.А. Баранов, Е.П. Балакина // Мир транспорта. – 2012. – № 2. – С. 70–74.

9. Барский, А.Б. Логические нейронные сети. М.: Интуит, 2016. – 309 с.

10. Бестемьянов, П.Ф. Методика оценки качества управления при координатном способе интервального регулирования / П.Ф. Бестемьянов, А.М. Романчиков // Наука и техника транспорта. – 2008. – № 1. – С. 71–74.

11. Борисов, А.Н. Принятие решения на основе нечетких моделей: примеры использования/ А.Н. Борисов, О.А. Крумберг, И.П. Федоров. – Рига: Зинатне. – 1990. – 184 с.

12. Бородин, А.Ф. Комплексные решения проблем развития инфраструктуры и перевозочных ресурсов / А.Ф. Бородин // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15. – № 1(68). – С. 6–17.

13. Бородин, А.Ф. Научно–методические проблемы перспективного развития сети железных дорог / А.Ф. Бородин, Г.Н. Медведева // Бюллетень ученого совета АО "ИЭРТ". – 2018. – № 3. – С. 41–49.

14. Бородин, А.Ф. Проблемы разработки Генеральной схемы развития сети железных дорог ОАО "РЖД" / А.Ф. Бородин // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 8. – С. 34–42.

15. Бурдакова, Г.А. Выбор схемы формирования поездов / Г.А. Бурдакова, В.А. Федоров // Труды ВНИИЖТ. – 1982. – с. 78–88.

16. Бутыркин, А.Я. Модели прогнозирования пассажирских перевозок на железнодорожном и авиационном транспорте / А.Я. Бутыркин, Е.Б. Куликова, О.Н. Мадяр // Наука и техника транспорта. – 2021. – № 1. – С. 19–27.

17. Вакуленко, С.П. Прогнозирование пассажиропотоков – важнейший инструмент эффективной организации пассажирских перевозок в пригородно-городской зоне крупного транспортного узла / С.П. Вакуленко, Е.Б. Куликова, О.Н. Мадяр // Наука и техника транспорта. – 2019. – № 1. – С. 8–15.

18. Вакуленко, С.П. Особенности моделирования пассажиропотока объектов транспортной инфраструктуры / С.П. Вакуленко, Н.Ю. Евреенова, О.И. Коровкина, К.В. Алексеева. – Экономика железных дорог. – 2021. – № 7. – С. 41–47.

19. Гапанович, В.А. О разработке документов по стандартизации, обеспечивающих внедрение систем управления железнодорожным подвижным составом в автоматическом режиме / В.А. Гапанович // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 11. – С. 29–32.

20. Гапанович, В.А. О качестве железнодорожных пассажирских перевозок / В.А. Гапанович, В.М. Ермаков // Стандарты и качество. – 2018. – № 11. – С. 40–43.

21. Годовой отчет ФПК за 2019 г.

22. Гоманков, Ф.С. Исследования вопросов совершенствования схемы обращения пассажирских поездов: автореф. дисс. канд. тех. наук: 05.22.08 // Гоманков Федор Степанович. – Москва. – 1973. – 23 с.

23. Горелик, А.В. Техническая эффективность сервисного обслуживания объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта с учетом методов оценки основных производственных процессов хозяйства автоматики и телемеханики / А.В. Горелик, Е.В. Кузьмина, А.В. Истомин // Наукосфера. – 2021. – № 10–1. – С. 100–103.

24. Горелик, В.Ю. Моделирование системы управления движением поездов на участке / В.Ю. Горелик, В.А. Неплюев // Наука и техника транспорта. – 2011. – № 3. – С. 44–48.

25. Гржибовский, А.М. Корреляционный анализ данных с использованием программного обеспечения Statistica и SPSS/ А.М.

Гржибовский, С.В. Иванов, М.А. Горбатова // Наука и здравоохранение. – 2017. – С. 7–36.

26. Григорьева, Д.Р. Основы нечеткой логики: Учебно–методическое пособие к практическим занятиям и лабораторным работам/ Д.Р. Григорьева и др. – Набережные Челны: Изд–во НЧИ КФУ. – 2018 – 42 с.

27. Дубровская, Т.А. Принятие решений в условиях частичной неопределенности исходной информации при введении скоростного движения на существующих линиях / Т.А. Дубровская // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 4(55). – С. 5–11.

28. Евреенова, Н.Ю. Выбор параметров транспортно–пересадочных узлов, формируемых с участием железнодорожного транспорта: дисс.канд. техн. наук: 05.22.08. – М.: Московский государственный университет путей сообщения МГУПС (МИИТ). – 2014. – 197 с.

29. Загордан, М.И. Пассажирские перевозки: научное издание / М.И. Загордан, Ф.И. Кравец. – М.: Транспечать. – 1931. – 258 с.

30. Заде, Л.А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений / Л.А. Заде // Математика сегодня. – М.: Знание, – 1974. – С. 5–49.

31. Заде, Л.А. Понятие лингвистической переменной и ее применение к понятию приближенных решений / Л.А. Заде. – М.: Мир. – 1976. – 165 с.

32. Заде, Л.А. Размытые множества и их применение в распознавании образов и кластер–анализе // В кн. Классификация и кластер; под. ред. Д.В. Райзина. – М.: Мир. – 1980. – С. 208–247.

33. Иванов-Толмачев, И.А. Развитие железнодорожных узлов: Учебное пособие для студентов специальности 190701 / И.А. Иванов-Толмачев, А.А. Сидраков, Д.В. Гончаров – М.: МИИТ. – 2011. – 66 с.

34. Исаков, Т.А. Подходы к оценке качества планирования и управления движением пассажирских поездов метрополитена / Т.А. Исаков, А.И. Сафронов, В.Г. Сидоренко, М.А. Чжо // Автоматика на транспорте. – 2020. – № 1. Том 6. – С. 38–63.

35. Каликина, Т.Н. Основные задачи повышения конкурентоспособности пассажирского комплекса на рынке транспортных услуг / Т.Н. Каликина, Е.А. Несветова // Сборник: Развитие инфраструктуры транспорта и технологий перевозочного процесса в современных условиях. Хабаровск. – 2007. – С. 86–90.

36. Каликина, Т.Н. Разработка новых методических подходов к экономической оценке перевозочного процесса на железнодорожном транспорте / Т.Н. Каликина, В.В. Комарова // Сборник: Профессиональное образование: преемственность, реализация и качество. материалы научно-методической конференции: в 2х томах . – 2012. – С. 46–50.

37. Китанина, К.В. Современное состояние организации пассажирских перевозок железнодорожным транспортом в дальнем и местном сообщении в дальневосточном регионе и способы повышения эффективности работы пассажирского комплекса / К.В. Китанина, Т.Н. Каликина // TRANSPORT BUSINESS IN RUSSIA. – 2015. – № 2. – с. 140–144.

38. Кобзев, В.А. Безопасность движения поездов: эволюция форм и методов контроля / В.А. Кобзев, Н.О. Бересток // Наука и техника транспорта. – 2019. – № 4. – С. 57–59.

39. Кобзев, П.П. Автоматизация расчета пассажиропотоков дальнего следования/ П.П. Кобзев, Е.В. Грицевская // Железнодорожный транспорт, – 1970. – №7. – С. 33–35.

40. Козлов, П.А. Поток и бункер–канал в транспортной системе / П.А. Козлов // Мир транспорта. – 2014. – Т. 12. – № 2(51). – С. 30–37.

41. Колпаков, В.С. Совершенствование пассажирских перевозок: научное издание/ В.С. Колпаков, В.Г. Шубко– М.: Транспорт. – 1983. – 191с.

42. Комплексная долгосрочная программа организации движения двухэтажных пассажирских вагонов на сети железных дорог ОАО "РЖД" (утвержденной распоряжением ОАО "РЖД" N 2822р от 30.12.16 г.).

43. Коньшева, Л.К. Основы теории нечетких множеств: учеб. пособие / Л.К. Коньшева, Д.М. Назаров. – СПб.: Питер. – 2011. – 192 с.

44. Кочнев, Ф.П. Пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте: учебник/ Ф.П. Кочнев. – М.: Транспорт. – 1980. – 496 с.

45. Кочнев, Ф.П. Повышение скорости движения пассажирских поездов/ Ф.П. Кочнев. – М.: Транспорт. – 1970. – 272 с.

46. Кригер, Л.С. Управление движением городского пассажирского транспорта на основе нечеткого ситуационного подхода: дисс.канд. техн. наук: 05.13.01. – М.: Астраханский государственный технический университет. – 2014. – 157 с.

47. Кутыркин, А.В. Кластерный анализ объектов инфраструктуры / А.В. Кутыркин, Е.А. Овчинникова, С.С. Судоргина // Мир транспорта. – 2012. №6. – С. 28–34.

48. Кутыркин, А.В. Кластерный анализ / А.В. Кутыркин, А.В. Сёмин – Методические указания. Переиздание. – М.: МИИТ. – 2009. – 22 с.

49. Кутыркин, А.В. Определение классов станций/ А.В. Кутыркин, Ю.О. Пазойский, С.О. Шатских // Мир транспорта. – 2012. – № 5. – С. 8–11.

50. Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH. – СПб.: БХВ Петербург. – 2005. – 736 с.

51. Лукашев, В.И. Пути освоения пассажиропотоков на перспективу: научное издание/ В.И. Лукашев и др. – М.: Транспорт. – 1985. – 40 с.

52. Лысиков, М.Г. О некоторых подходах к оценке качества транспортного обслуживания пассажиров в транспортно–пересадочных узлах / М.Г. Лысиков, А.М. Ольшанский, Г.М. Биленко, А.В. Эрлих // Наука и техника транспорта. – 2022. – № 1. – С. 57–64.

53. Лысиков, М.Г. Применение имитационного моделирования для системного анализа функционирования транспортно–пересадочных узлов // Системы компьютерной математики и их приложения. – 2017. – №. 18. – С. 25–27.

54. Мадяр, О.Н. Разработка методики определения целесообразности назначения остановок пассажирских поездов в крупных транспортных узлах:

дисс.канд. техн. наук: 05.22.08. – М.: Российский университет транспорта. – 2019. – 250 с.

55. Никитин, О.А. Выбор структуры управления пассажирскими перевозками: дисс. канд. тех. наук: 05.22.08 / Никитин Олег Аникеевич. – Москва. – 2006. – 288 с.

56. Оразбаев, Б. Б. Теория и методы системного анализа: учебное пособие/ Б.Б. Оразбаев, Л.Т. Курмангазиева, Ш.К. Коданова – М.: Издательский дом Академии Естествознания. – 2017. – 248 с.

57. Панова, О.Н. План формирования пассажирских поездов при условии удовлетворения спроса на категории мест: дисс. канд. тех. наук: 05.22.08/ Панова Ольга Николаевна. – Москва. – 2001. – 174 с.

58. Пазойский, Ю.О. Железнодорожные пассажирские перевозки (избранные главы): учебное пособие/ Ю.О. Пазойский, М.Ю. Савельев, А.А. Сидраков, В.Н. Шмаль, Е.А. Овчинникова, Е.А. Середов – М.: РУТ (МИИТ). – 2020. – 407 с.

59. Пазойский, Ю.О. Закономерность распределения пассажиропотока в пассажирских поездах дальнего следования/ Ю.О. Пазойский, М.Ю. Савельев, Е.А. Середов // Экономика железных дорог. 2022. № 7. С. 29–39.

60. Пазойский, Ю.О. Инструктивные указания по расчету плана формирования пассажирских поездов / Ю.О. Пазойский, В.Г. Шубко, Н.А. Батурина. – М.: МИИТ. – 1987. – 60 с.

61. Пазойский, Ю.О. Использование методов теории нечетких множеств для освоения пассажиропотока/ Ю.О. Пазойский, М.Ю. Савельев, Е.А. Середов // Сборник: Фёдор Петрович Кочнев – выдающийся организатор транспортного образования и науки в России. Труды международной научно-практической конференции. Отв. редактор А.Ф. Бородин, сост. Р.А. Ефимов. Москва. – 2021. – С. 328–332.

62. Пазойский, Ю.О. Математическая модель оптимизации пассажирских перевозок в дальнем сообщении / Ю.О. Пазойский, Д.В. Глазков // Вестник ВНИИЖТ. – 2004 – №2. – С. 39–41.

63. Пазойский, Ю.О. Оптимизация параметров системы освоения пригородных пассажиропотоков в условиях мегаполиса: Дис. д-ра техн. наук. – 2000. – 339 с.

64. Пазойский, Ю.О. Определение оптимального числа и назначения пассажирских поездов при условии обеспечения беспересадочного сообщения/ Ю.О. Пазойский, М.Ю. Савельев // Materiale Conferintei Internationale «Sisteme de transport si logistica» (Chisinau, Evrica, 2009). – 2009. – С. 368–377.

65. Покацкая, Е.В. Пассажирские перевозки в условиях перехода к рынку/ Е.В. Покацкая, А.В. Дмитриенко // Железнодорожный транспорт. – 1994. – №4. – С. 2–10.

66. Правдин, Н.В. Проектирование инфраструктуры железнодорожного транспорта (станции, железнодорожные и транспортные узлы) / Н.В. Правдин, С.П. Вакуленко, А.К. Головнич и др.: учебник для вузов ж.д. транспорта. – ФГБОУ УМЦ ЖДТ, Москва. – 2012. – 1086 с.

67. Правдин, Н.В. Прогнозирование пассажирских потоков: Методика, расчеты, примеры: научное издание/ Н.В. Правдин, В.Я. Негрей. – М.: Транспорт. – 1980. – 222 с.

68. Правила перевозок пассажиров, багажа, грузобагажа железнодорожным транспортом, утвержденным приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 19.12.2013 года №473.

69. Приказ Федеральной антимонопольной службы от 20.09.2019 № 1232/19 "Об индексации ставок тарифов, сборов и платы на работы (услуги), выполняемые ОАО "Российские железные дороги", АО "Федеральная пассажирская компания", АО "Пассажирская компания "Сахалин", АО "АК "Железные дороги Якутии", АО ТК "Гранд Сервис Экспресс", утвержденных приказами ФСТ России от 27 июля 2010 года № 156–т/1 и ФАС России от 30 мая 2019 года № 696/19, и установлении дифференцированных по календарным периодам года индексов к уровню тарифов на перевозки пассажиров железнодорожным транспортом общего пользования во

внутригосударственном сообщении в составе дальних поездов АО "Федеральная пассажирская компания", ОАО "Российские железные дороги" (Зарегистрирован 21.10.2019 № 56283).

70. Прытов, А.А. Разработка метода выбора вида пассажирского транспорта в зависимости от дальности перевозок // Научный вестник МГТУ ГА. – № 21.

71. Распоряжение Правительства РФ от 22 ноября 2008 г. N 1734-р О Транспортной стратегии РФ на период до 2030 г.

72. Розенберг, Е.Н. Разработка перспективных систем управления движением поездов // Автоматика, связь, информатика. – 2014. – № 12. – С. 15–17.

73. Розенберг Е.Н. Цифровая железная дорога – ближайшее будущее // Автоматика, связь, информатика. – 2016. – № 10. – С. 4–7.

74. Роменский, Д.Ю. Основные подходы к организации смешанного движения на железнодорожных участках с интенсивным пассажирским движением / Д.Ю. Роменский // Тенденции развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом: Материалы международной юбилейной научно–технической конференции, Москва. – 20–21 ноября 2019. – Москва: РУТ (МИИТ), – 2020.

75. Рыкова, Л.А. Организация работы пассажирских комплексов на железнодорожном транспорте: методические рекомендации/ Л.А. Рыкова. – Екатеринбург: УрГУПС. – 2015 – 48 с.

76. Саати, Т. Математические модели конфликтных ситуаций/ Томас Л. Саати; пер. с англ. В.Н. Веселова и Г.Б. Рубальского ; под ред. [и с предисл.] И.А. Ушакова. – Москва: Сов. радио. – 1977. – 302 с.

77. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий/ Т. Саати. Перевод с английского Р. Г. Вачнадзе. М.: Радио и связь. – 1993. – 278 с.

78. Савельев, М.Ю. Выбор оптимальных параметров системы освоения потоков пассажиров, багажа и грузобагажа на сети железных дорог

российской федерации: дисс. канд. тех. наук: 05.22.08 / Савельев Максим Юрьевич. – Москва. – 2015. – 169 с.

79. Савельев, М.Ю. Организация перевозки багажа в вагонах пассажирских поездов / М.Ю. Савельев // Транспорт: наука, техника, технология. – 2013. – №9. – С.70–74.

80. Сакульева, Т.Н. Оценка конкурентоспособности железнодорожных перевозок на рынке пассажирских перевозок/ Т.Н. Сакульева // Вестник транспорта. – 2019. – №10. – С.18–19.

81. Середов, Е.А. Выбор предпочтительной поездной единицы методом парных сравнений/Е.А. Середов // сборник научных трудов по материалам VII Международной научно–практической конференции «Научно–технические аспекты инновационного развития транспортного комплекса». – 2021. – С. 18–21.

82. Середов, Е.А. Использование теории нечетких множеств для определения потребного количества поездных единиц/ Е.А. Середов // Наука и техника транспорта. – 2021. – № 3. – С. 81–86.

83. Середов, Е.А. Установление перспективных схем составов пассажирских поездов/ Е.А. Середов // E-Scio. – 2022. – № 7 (70). – С. 339–346. EDN: MUOJEZ.

84. Середов, Е.А. Формирование маршрутной сети пассажирских поездов с учетом предпочтений пассажиров/ Е.А. Середов // Экономика железных дорог. – 2021. – № 11. – С. 34–43.

85. Сидоренко, В.Г. Применение современных технологий программирования к автоматизации планирования движения поездов метрополитена / В.Г. Сидоренко, А.И. Сафронов, К.М. Филипченко, М.А. Чжо // Автоматика на транспорте. – 2016. – № 3, т. 2. – С. 331–347.

86. Сидоренко, В.Г. Современные вызовы безопасности городских транспортных систем / В.Г. Сидоренко // Проблемы управления безопасностью сложных систем: Материалы XXVIII международной конференции, Москва, 16 декабря 2020 года / Под общей редакцией

А.О. Калашникова, В.В. Кульбы. – Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – 2020. – С. 434–439.

87. Сидраков, А.А. Организация скоростных пассажирских перевозок в дальнем сообщении: дисс. канд. тех. наук: 05.22.08/ Сидраков Александр Андреевич. – Москва. – 2012. – 182 с.

88. Стратегия развития ОАО «Федеральная пассажирская компания» до 2030 года.

89. Флягина, Т.М. Экономическое обоснование системы управления железнодорожными пассажирскими перевозками в дальнем следовании: дисс. канд. экон. наук: 08.00.05/ Флягина Татьяна Анатольевна – Москва. – 2019. – 185 с.

90. Шубко, В.Г. План формирования пассажирских поездов (теория, методика, расчеты): автореф. дисс. док. тех. наук: 05.22.08 / Шубко Владимир Григорьевич. – Москва. – 1985. – 40 с.

91. Яхьяева, Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети / Г.Э. Яхьяева // Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ». – 2016. – 186 с.

92. Carmona, P., Castro JL, Zurita JM. Commutativity as prior knowledge in fuzzy modeling. *Fuzzy Set Syst* 2005, 152:565–585.

93. Chang, D.Y. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP/D.Y. Chang.: *European Journal of Operational Research* 95, – 649–655 pp., – 1996.

94. Deboeck, G., Kohonen T. *Visual Exploration in Finance with Self-Organizing Maps*. Springer–Verlag. – 1998.

95. Goodfellow I., Bengia Y., Courville A. *Deep Learning*. London; Cambridge : MIT Press. – 2016.

96. Hartigan J.A., and M.A. Wong. 1979. “A K–Means Clustering Algorithm.” *Applied Statistics* 28: 100–108.

97. Igor Kononenko, Matjaz Kukar, in *Machine Learning and Data Mining*. – 2007.

98. Laarhoven, P.J.M. A fuzzy extension of Saaty's priority theory/ P.J.M Laarhoven, W. A. Pedrycz // Fuzzy sets and Systems. – 1983. – Vol. 11. – P. 229–241.
99. Lloyd, Stuart. 1982. “Least Squares Quantization in Pcm.” IEEE Transactions on Information Theory 28 (2). IEEE: 129–37.
100. Saaty, T.L. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process//Management Science. – 1986, July. – Vol. 32, №7. – P. 841–855.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Данных по пассажиропотокам на различных маршрутах следования
пассажирских поездов

Таблица А.1 – Исходная выборка данных по пассажиропотокам

№ п.п.	Маршрут	Дальность маршрута следования поезда, км	Количество пассажиров, следующих в вагонах			
			типа купе, пасс	типа люкс, пасс	типа плацкарт, пасс	с местами для сидения, пасс
1	Брянск-Вязьма	243,3	520	0	1174	35
2	Псков-Новгород	245,9	0	0	207	5238
3	Ярославль-Ковров	246	276	3	534	0
4	Дно-Санкт-Петербург	246,1	3138	2	11892	2530
5	Курск-Воронеж	246,7	1258	26	3618	0
6	Брянск-Смоленск	255	727	0	1779	0
7	Москва-Павелец	257	660	6	2456	2573
8	Орел-Липецк	270	169	0	882	0
9	Брянск-Обнинское	273,4	36	0	523	0
10	Новгород-Бологое	275	69	0	680	0
11	Санкт-Петербург-Псков	277	0	0	0	14072
12	Ярославль-Владимир	286	12	0	594	0
13	Бологое-Дно	287	16	0	348	280
14	Брянск-Курск	294	509	0	1095	0
15	Смоленск-Ржев	295	56	0	174	32447
16	Псков-Великие Луки	304	65	0	214	3691
17	Орел-Белгород	314	885	15	6221	127
18	Санкт-Петербург-Бологое	319,1	6344	45	18186	2164
19	Брянск-Елец	323,3	166	0	669	0
20	Брянск-Бекасово	326,7	345	1	1815	0
21	Череповец-Коноша	331	113	0	1006	0
22	Ижевск-Казань	331,6	16419	208	25088	0
23	Москва-Бологое	331,8	6826	53	12191	0
24	Ржев-Окуловка	334	9	0	31	293
25	Тула-Липецк	334,9	376	2	897	0
26	Орел-Старый Оскол	337	99	5	796	9101
27	Череповец-Ярославль	338	1143	38	5504	0
28	Курск-Лиски	344,8	205	8	779	0
29	Тула-Курск	346,7	1146	28	4101	15678
30	Белгород-Воронеж	348	471	0	868	0
31	Москва-Сонково	359	157	0	670	0
32	Ижевск-Пермь	362	1742	184	6184	0

Продолжение таблицы А.1

33	Бологое-Псков	362,9	72	1	585	0
34	Тверь-Владимир	363	372	16	1193	0
35	Чудово-Тверь	365	34	0	250	824
36	Тверь-Тула	366	1191	3	2302	38977
37	Бологое-Ярославль	377	512	6	789	0
38	Тверь-Рязань	378	620	16	2070	0
39	Беломорск-Петрозаводск	379	1582	20	6480	0
40	Псков-Бологое	380,5	59	1	644	0
41	Орел-Москва	383	43738	1007	110705	0
42	Киров-Котлас	383,3	5147	134	16187	0
43	Тула-Льгов	388	340	0	356	12546
44	Брянск-Липецк	401,1	993	0	2862	0
45	Орел-Воронеж	402,4	867	14	2980	0
46	Москва-Окуловка	402,9	5451	93	11305	19816
47	Киров-Ижевск	405	3627	11	12649	1092
48	Москва-Мичуринск	410,2	14438	1060	36846	28670
49	Москва-Арзамас	410,2	34841	5676	41706	0
50	Тверь-Узловая	417,4	238	0	559	0
51	Тула-Смоленск	420,3	382	0	494	0
52	Ярославль-Коноша	425	1407	11	4589	0
53	Тверь-Дно	426,7	19	3	200	573
54	Тверь-Ковров	427	124	2	732	0
55	Ярославль-Нижний Новгород	433	3935	96	4386	1232
56	Москва-Елец	433,3	6421	215	19475	4
57	Новгород-Тверь	439	276	14	2325	0
58	Санкт-Петербург-Лихославль	441,5	200	0	347	0
59	Ярославль-Окуловка	447	620	4	736	253
60	Санкт-Петербург-Великие Луки	450	9059	0	53485	1988
61	Киров-Нижний Новгород	455,8	23780	834	40815	1
62	Ижевск-Канаш	458	994	14	1142	0
63	Тверь-Муром	458	173	0	265	0
64	Курск-Россошь	460,7	141	0	527	0
65	Петрозаводск-Новгород	462	47	0	313	11680
66	Москва-Рыбинск	464	1622	0	3521	12
67	Санкт-Петербург-Череповец	468,7	14963	1588	75579	53
68	Москва-Великие Луки	476	12975	422	29344	166
69	Санкт-Петербург-Торжок	476,1	969	0	4038	83403
70	Киров-Пермь	480	8224	380	34899	0

Продолжение таблицы А.1

71	Ярославль-Рязань	480	496	7	1574	0
72	Санкт-Петербург-Тверь	483,5	26461	400	59030	53307
73	Беломорск-Архангельск	486	486	0	1433	0
74	Ижевск-Котельнич	492	39	0	446	0
75	Орел-Лиски	499,4	171	2	406	0
76	Тула-Белгород	503	2074	65	7181	88
77	Костомукша-Петрозаводск	505	1760	0	12364	162
78	Череповец-Александров	508	129	3	386	0
79	Санкт-Петербург-Сонково	512,4	1365	16	4508	0
80	Бологое-Иваново	519	222	3	499	0
81	Брянск-Тверь	522,5	534	62	1896	0
82	Тула-Старый Оскол	526	246	14	1288	7889
83	Тверь-Псков	527	846	33	2869	0
84	Псков-Тверь	527,5	802	20	2510	0
85	Белгород-Мичуринск	528	306	0	726	0
86	Бологое-Тула	530	126	0	239	17654
87	Москва-Чудово	533,2	802	70	3316	23156
88	Бологое-Рязань	538	69	0	409	0
89	Курск-Москва	538,3	89312	6115	198791	0
90	Брянск-Воронеж	546,9	2751	0	5356	0
91	Курск-Смоленск	549	540	0	1195	0
92	Москва-Курск	550,8	93448	5801	192658	258697
93	Ярославль-Арзамас	553	223	13	395	0
94	Тверь-Орел	555	1097	0	1351	0
95	Тула-Воронеж	556,5	882	18	1593	0
96	Брянск-Тамбов	575	69	0	275	0
97	Киров-Арзамас	576	1170	11	1391	0
98	Тверь-Арзамас	581	131	0	307	0
99	Киров-Кострома	582	649	0	2068	0
100	Москва-Льгов	582,5	12292	4	32541	210135
101	Санкт-Петербург-Ржев	588,2	3879	0	9985	1732
102	Ярославль-Котельнич	588,3	77	0	353	0
103	Тверь-Мичуринск	590,4	139	6	437	0
104	Петрозаводск-Бологое	595	456	3	972	0
105	Тула-Пенза	595	209	0	788	0
106	Москва-Воронеж	598,1	123850	7906	141451	333225
107	Дно-Москва	599,1	432	17	1990	0
108	Бологое-Петрозаводск	599,6	484	4	1088	0
109	Тула-Окуловка	600	158	2	205	0

Продолжение таблицы А.1

110	Белгород-Тамбов	601	398	0	1351	0
111	Ижевск-Екатеринбург	605,2	9894	0	22840	6
112	Новгород-Москва	611,2	27040	2967	72561	0
113	Тверь-Нижний Новгород	614	1374	91	4335	0
114	Киров-Чусовская	615	103	0	654	0
115	Орел-Россошь	615,5	69	0	320	0
116	Тверь-Елец	615,6	123	0	399	0
117	Киров-Микунь	617	470	19	1023	93
118	Санкт-Петербург-Рыбинск	617,6	9152	676	21443	15
119	Череповец-Москва	620,4	27624	2097	73036	0
120	Тула-Лиски	620,5	76	1	302	0
121	Смоленск-Владимир	621	219	0	742	0
122	Москва-Саранск	627	62646	9852	98560	89214
123	Ижевск-Ульяновск	627,5	655	2	1312	0
124	Киров-Вологда	637	1173	64	3454	23
125	Брянск-Лиски	639,8	205	0	469	0
126	Киров-Ковров	642,7	255	7	1371	100
127	Тверь-Тамбов	654,4	289	0	903	0
128	Смоленск-Липецк	656	218	0	315	0
129	Мурманск-Беломорск	665	318	4	967	1
130	Москва-Канаш	665,4	49909	1584	74522	0
131	Москва-Ртищево	666,1	7530	307	31039	106
132	Череповец-Котельнич	674	56	0	258	0
133	Ярославль-Киров	675,2	2597	0	6505	0
134	Рославль-Воронеж	676,2	169	0	332	0
135	Москва-Касторная	681,7	314	11	1582	0
136	Москва-Лиски	683,9	14594	659	19277	18812
137	Тверь-Липецк	689,7	650	2	1005	0
138	Ярославль-Мичуринск	692,2	184	1	560	0
139	Санкт-Петербург-Ярославль	697,7	33516	3216	80831	2002
140	Ярославль-Санкт-Петербург	700,8	34162	3721	80437	4925
141	Псков-Москва	702,7	37059	2986	80617	0
142	Москва-Поворино	704,1	3332	51	6146	0
143	Санкт-Петербург-Вязьма	706,6	2254	0	3610	14
144	Киров-Владимир	706,9	2241	147	5498	0
145	Москва-Коноша	707,5	1497	69	4576	2271
146	Петрозаводск-Псков	708,6	0	0	1052	169
147	Курск-Тверь	709	710	0	1180	3
148	Псков-Петрозаводск	710	0	0	1126	2900
149	Череповец-Котлас	711,4	818	0	3552	0

Продолжение таблицы А.1

150	Ижевск-Арзамас	720	401	0	806	0
151	Ижевск-Саранск	725	254	50	779	0
152	Чудово-Тула	731	0	0	1	24217
153	Санкт-Петербург-Обнинское	732	1482	12	2994	0
154	Киров-Казань	742	1759	4	3103	0
155	Ярославль-Смоленск	743	176	0	817	0
156	Курск-Лихая	749,5	112	6	319	0
157	Москва-Балашов	754	6948	0	20528	6084
158	Тула-Россошь	754,6	47	2	290	0
159	Брянск-Россошь	755,8	195	0	330	0
160	Ярославль-Саранск	757,7	206	3	412	0
161	Череповец-Архангельск	758	657	0	4124	0
162	Киров-Череповец	761	589	35	1862	0
163	Петрозаводск-Тверь	761,3	1016	47	3525	0
164	Москва-Валуйки	763	169	0	177	0
165	Костомукша-Санкт-Петербург	767	5291	0	9334	456
166	Ижевск-Сызрань	769,4	181	2	491	0
167	Санкт-Петербург-Беломорск	774	1753	54	5821	0
168	Ижевск-Рузаевка	775,4	100	4	273	180
169	Бологое-Нижний Новгород	779,1	161	10	565	0
170	Киров-Саранск	781	622	13	1342	0
171	Санкт-Петербург-Ожерелье	781	1034	0	1449	0
172	Ярославль-Рузаевка	783,7	55	10	88	3578
173	Белгород-Ртищево	789	181	0	436	0
174	Тверь-Воронеж	791,4	1742	34	2686	0
175	Смоленск-Воронеж	798	981	0	1501	0
176	Москва-Россошь	798,5	13425	943	21452	0
177	Санкт-Петербург-Коноша	800,4	1140	0	2791	0
178	Новгород-Владимир	802,3	403	54	1530	0
179	Санкт-Петербург-Кострома	806,5	3975	0	13217	0
180	Ярославль-Котлас	809,9	5366	29	9743	47
181	Курск-Шахтная	822,3	75	0	358	0
182	Орел-Саратов	824	153	0	837	0
183	Тверь-Рузаевка	827	23	5	70	1162
184	Санкт-Петербург-Рославль	829	33	0	98	2856
185	Москва-Котельнич	838,3	3221	330	10360	0
186	Тверь-Канаш	838,9	118	0	472	0

Продолжение таблицы А.1

187	Санкт-Петербург-Иваново	839,1	10132	1199	38231	0
188	Ижевск-Нижний Новгород	844,8	8238	5	12117	0
189	Киров-Нижний Тагил	846	152	1	797	0
190	Санкт-Петербург-Владимир	846,3	6475	349	20231	0
191	Тула-Сызрань	848	88	0	371	0
192	Тула-Санкт-Петербург	850,4	28131	786	38027	55
193	Ярославль-Архангельск	852	6824	761	21210	167
194	Санкт-Петербург-Рязань	852,9	24226	1341	32728	0
195	Беломорск-Вологда	858	82	0	370	0
196	Петрозаводск-Апатиты	859	1135	43	4248	0
197	Смоленск-Санкт-Петербург	862,8	10834	0	18415	2875
198	Киров-Екатеринбург	863,3	10575	465	29854	0
199	Новгород-Ковров	867,9	88	4	390	0
200	Тверь-Белгород	869	1270	0	1441	0
201	Киров-Сосногорск	872	881	35	1957	0
202	Смоленск-Нижний Новгород	872	398	0	1652	0
203	Курск-Бологое	873	232	0	399	0
204	Ярославль-Воронеж	873,3	1160	43	2459	0
205	Ярославль-Глазов	883,1	270	0	849	0
206	Псков-Тула	886	0	0	107	6257
207	Санкт-Петербург-Сухиничи	887	452	56	1454	0
208	Смоленск-Лиски	892,1	86	0	231	0
209	Санкт-Петербург-Узловая	896,4	5279	89	7572	0
210	Тверь-Лиски	901,5	123	0	210	0
211	Ижевск-Пенза	902,4	530	35	1244	10
212	Санкт-Петербург-Ковров	913,1	2851	174	8478	0
213	Курск-Ростов-на-Дону	915,6	2470	94	5636	0
214	Ижевск-Тюмень	930	1478	0	1867	0
215	Ижевск-Самара	937	336	0	640	0
216	Санкт-Петербург-Муром	941	2473	0	5774	0
217	Ижевск-Сенная	943,3	70	0	349	20
218	Киров-Пенза	947	1071	37	1698	0
219	Белгород-Пенза	948	520	0	1734	0
220	Брянск-Саратов	955	366	0	1812	0

Продолжение таблицы А.1

221	Ярославль-Лиски	956,8	147	1	415	0
222	Смоленск-Вологда	957	98	0	581	0
223	Апатиты-Архангельск	966	412	0	1350	0
224	Тверь-Казань	966,1	551	0	1955	0
225	Санкт-Петербург-Рязск	969	382	0	1090	35
226	Череповец-Глазов	969	65	3	239	0
227	Москва-Иловля	978,4	433	0	808	4287
228	Чудово-Нижний Новгород	979	87	6	490	0
229	Тула-Самара	984	361	0	801	0
230	Киров-Ульяновск	988,5	435	1	943	0
231	Киров-Серов	989	118	3	531	0
232	Санкт-Петербург-Брянск	1005	13603	1500	33732	3
233	Смоленск-Россошь	1008,7	143	0	252	0
234	Смоленск-Пенза	1016	72	0	299	0
235	Белгород-Ростов-на-Дону	1018,7	163	0	312	0
236	Курск-Староминская	1029,9	249	4	560	0
237	Белгород-Ярославль	1032	152	0	211	0
238	Белгород-Бологое	1033	195	0	285	0
239	Тверь-Саратов	1034,7	393	0	1420	0
240	Орел-Санкт-Петербург	1038,9	18740	0	31048	37
241	Ижевск-Вологда	1042	30	0	87	251
242	Мурманск-Петрозаводск	1044	4553	274	11427	0
243	Ярославль-Микунь	1044,8	1525	21	2381	0
244	Ижевск-Ковров	1048	65	0	366	2187
245	Новгород-Нижний Новгород	1053,2	1307	166	4789	0
246	Ярославль-Ульяновск	1056	216	0	395	0
247	Санкт-Петербург-Мичуринск	1065,8	5066	335	9632	0
248	Орел-Ростов-на-Дону	1069,5	628	27	2199	0
249	Киров-Тверь	1070	162	10	473	0
250	Санкт-Петербург-Арзамас	1071,6	4824	22	9949	0
251	Ярославль-Россошь	1073,2	103	0	283	0
252	Ижевск-Саратов	1079,4	962	9	2151	0
253	Москва-Лихая	1085,8	4395	318	9422	0
254	Ярославль-Сызрань	1090,5	233	8	376	7135
255	Москва-Котлас	1090,7	21010	474	38801	34
256	Москва-Агрыз	1093,2	14620	417	19732	0
257	Курск-Тихорецкая	1095,6	80	1	378	0

Продолжение таблицы А.1

258	Санкт-Петербург-Елец	1095,9	4709	101	6726	0
259	Тула-Шахтная	1098,9	90	1	330	0
260	Белгород-Окуловка	1103	318	0	287	0
261	Ижевск-Владимир	1112	317	2	1071	0
262	Брянск-Шахтная	1115,7	90	0	310	0
263	Киров-Челябинск	1117,7	2555	151	5145	0
264	Киров-Печора	1121	2506	92	5674	141
265	Бологое-Казань	1129,1	128	0	419	0
266	Ярославль-Сыктывкар	1131,4	883	0	1935	0
267	Москва-Глазов	1135,6	12111	749	25320	145
268	Санкт-Петербург-Тамбов	1137,4	7653	4	18852	0
269	Мурманск-Архангельск	1151	4527	0	11216	0
270	Ярославль-Пермь	1155,3	1832	0	3999	0
271	Курск-Кавказская	1157,5	112	7	504	0
272	Москва-Шахтная	1159	6426	309	17322	0
273	Тула-Ростов-на-Дону	1166	1098	9	2502	0
274	Орел-Староминская	1173,1	76	4	410	0
275	Санкт-Петербург-Липецк	1173,7	10969	214	15016	0
276	Санкт-Петербург-Котлас	1182,4	11395	0	30105	0
277	Петрозаводск-Тула	1190	166	0	575	0
278	Киров-Тюмень	1192	2441	67	7824	0
279	Санкт-Петербург-Курск	1192,2	24824	0	33839	66
280	Тула-Петрозаводск	1193,8	138	0	366	0
281	Санкт-Петербург-Котельнич	1198,1	1545	58	4253	0
282	Бологое-Саратов	1198,3	152	0	437	0
283	Белгород-Сызрань	1201	471	0	1605	0
284	Курск-Краснодар	1202,7	1776	44	6036	0
285	Смоленск-Саратов	1210	130	0	300	0
286	Череповец-Воронеж	1212,9	143	0	485	0
287	Брянск-Ростов-на-Дону	1218,3	1041	0	2756	0
288	Курск-Армавир	1223,5	246	9	940	0
289	Санкт-Петербург-Архангельск	1227,3	16957	0	36210	0
290	Москва-Бугульма	1241	6435	0	9822	0
291	Череповец-Пермь	1241	564	15	1408	0
292	Санкт-Петербург-Воронеж	1252,5	36485	1351	56387	0

Продолжение таблицы А.1

293	Санкт-Петербург-Апатиты	1254	7875	287	27685	0
294	Киров-Усинск	1272,9	2983	0	25441	0
295	Санкт-Петербург-Киров	1292,7	21710	969	47927	1351
296	Белгород-Краснодар	1299	328	0	1092	0
297	Ярославль-Сосногорск	1300,9	1667	15	1958	0
298	Мурманск-Коноша	1312	816	0	1208	0
299	Киров-Верхнеконд	1320	86	0	250	0
300	Апатиты-Новгород	1321	204	0	1047	0
301	Брянск-Староминская	1323,4	208	0	563	0
302	Тула-Ейск	1324	968	0	1589	0
303	Санкт-Петербург-Канаш	1325,3	5968	0	17991	0
304	Тверь-Волгоград	1325,5	320	0	722	0
305	Санкт-Петербург-Ртищево	1325,6	1201	1	4006	0
306	Москва-Микунь	1326,4	5299	75	11249	163
307	Киров-Смоленск	1328	132	0	534	0
308	Москва-Беломорск	1330,6	1433	44	1952	0
309	Белгород-Самара	1337	1190	0	3385	0
310	Апатиты-Вологда	1338	653	0	2465	0
311	Киров-Самара	1342	914	0	1546	0
312	Курск-Туапсе	1351,1	557	0	1964	0
313	Санкт-Петербург-Белгород	1352,3	35834	0	46851	0
314	Орел-Краснодар	1353,4	991	24	3801	0
315	Рославль-Ростов-на-Дону	1359,7	137	0	266	0
316	Курск-Анапа	1365,4	4572	180	13346	0
317	Смоленск-Шахтная	1369,9	98	0	216	0
318	Москва-Староминская	1374,6	5488	421	9467	0
319	Санкт-Петербург-Лиски	1378,5	3259	86	3690	0
320	Курск-Лазаревская	1379,7	1616	0	4689	0
321	Тула-Кавказская	1381,7	157	0	444	0
322	Апатиты-Окуловка	1403,8	86	3	251	0
323	Смоленск-Самара	1405	126	0	575	0
324	Москва-Пермь	1409,1	34393	1668	111851	0
325	Курск-Мин. Воды	1411,5	1018	32	2035	0
326	Москва-Сыктывкар	1412	3488	0	12497	0
327	Курск-Лоо	1413,1	482	0	1551	0
328	Санкт-Петербург-Микунь	1417,1	1595	0	2884	85

Продолжение таблицы А.1

329	Санкт-Петербург-Чебоксары	1422	4003	0	16242	0
330	Москва-Костомукша	1430	0	0	360	0
331	Петрозаводск-Орел	1434	126	0	302	0
332	Курск-Сочи	1434	1406	1	3424	0
333	Москва-Тихорецкая	1434,2	6002	233	7747	0
334	Курск-Пятигорск	1437,5	866	41	1803	0
335	Санкт-Петербург-Мурманск	1439	24373	1202	71387	0
336	Санкт-Петербург-Поворино	1439	669	0	922	0
337	Киров-Саратов	1439,6	917	0	1652	0
338	Тула-Армавир	1448	180	0	452	0
339	Санкт-Петербург-Пенза	1452	4471	137	10722	80
340	Санкт-Петербург-Саранск	1453,7	1431	16	3137	0
341	Санкт-Петербург-Казань	1455,1	14515	2	54782	0
342	Курск-Адлер	1456,2	3349	2	9334	0
343	Апатиты-Бологое	1463,9	187	3	399	0
344	Ижевск-Тверь	1475	95	0	286	0
345	Курск-Кисловодск	1475,3	1117	68	1808	0
346	Москва-Оренбург	1477,8	34564	72	66667	0
347	Тверь-Ростов-на-Дону	1478,5	900	12	1420	0
348	Белгород-Анапа	1479	1214	0	2903	0
349	Смоленск-Ростов-на-Дону	1482,3	714	0	1984	0
350	Бологое-Волгоград	1487,8	157	0	270	0
351	Бологое-Апатиты	1490,7	149	0	384	0
352	Ижевск-Лиски	1491,7	210	11	559	0
353	Санкт-Петербург-Россошь	1495,7	3345	108	4015	0
354	Москва-Кавказская	1496	8371	259	10975	0
355	Орел-Туапсе	1500,8	299	0	1337	0
356	Тула-Краснодар	1504,8	835	41	2290	0
357	Мурманск-Новгород	1506	815	0	2543	0
358	Тула-Уфа	1507	55	0	387	0
359	Киров-Приобье	1508	76	0	266	0
360	Брянск-Краснодар	1512,2	1766	0	3954	0
361	Санкт-Петербург-Сыктывкар	1513	3752	0	9794	0
362	Санкт-Петербург-Саратов	1517,6	20624	5	47727	0
363	Москва-Ейск	1518	15614	0	18565	0
364	Киров-Лиски	1519	232	1	423	0

Продолжение таблицы А.1

365	Мурманск-Вологда	1523	4412	0	9390	0
366	Орел-Лазаревская	1529,5	551	0	2779	0
367	Москва-Уфа	1531,7	20574	1142	43553	0
368	Москва-Чусовская	1532	614	6	3326	0
369	Ярославль-Ростов-на-Дону	1534,1	734	12	1801	0
370	Ярославль-Екатеринбург	1536,6	2648	0	6437	0
371	Ижевск-Волгоград	1539,6	688	17	1614	0
372	Ярославль-Печора	1549,5	1778	28	2791	0
373	Тверь-Пермь	1550	155	13	259	0
374	Орел-Лоо	1562,5	160	0	1000	0
375	Москва-Армавир	1565	16283	638	17723	0
376	Киров-Воркута	1569	7257	189	10531	0
377	Апатиты-Псков	1578	0	0	515	0
378	Орел-Мин. Воды	1578,7	245	0	662	0
379	Москва-Дружинино	1580,4	281	1	560	0
380	Орел-Сочи	1581,7	745	0	2011	0
381	Москва-Сосногорск	1581,9	2895	18	3855	2
382	Петрозаводск-Курск	1584,5	186	0	305	0
383	Белгород-Адлер	1584,9	31	0	486	0
384	Смоленск-Староминская	1585,7	423	0	463	0
385	Курск-Петрозаводск	1585,9	160	0	214	0
386	Тверь-Ейск	1586	487	0	713	0
387	Петрозаводск-Воронеж	1591	288	22	501	0
388	Мурманск-Окуловка	1594,1	414	3	1147	0
389	Смоленск-Архангельск	1595	389	0	1216	0
390	Орел-Адлер	1603,8	1277	2	5741	0
391	Череповец-Екатеринбург	1622	1174	72	3737	0
392	Апатиты-Тверь	1632	213	2	781	0
393	Тула-Мин. Воды	1632,2	527	0	930	0
394	Бологое-Ростов-на-Дону	1633,4	285	0	337	0
395	Киров-Россошь	1635	124	8	201	0
396	Ижевск-Сургут	1635	908	0	1294	0
397	Ярославль-Староминская	1636,5	238	0	436	0
398	Мурманск-Бологое	1645,7	843	5	1457	0
399	Рославль-Краснодар	1649,8	234	0	492	0
400	Брянск-Туапсе	1650,3	761	0	1283	0
401	Тверь-Апатиты	1653,4	239	2	735	0
402	Тула-Анапа	1659,8	4658	159	10044	0

Продолжение таблицы А.1

403	Бологое-Мурманск	1670,6	915	21	1316	0
404	Санкт-Петербург-Сосногорск	1672	510	0	1488	0
405	Тула-Туапсе	1673,9	404	14	1807	0
406	Брянск-Лазаревская	1680,3	2459	0	3128	0
407	Ярославль-Уфа	1686,7	360	0	841	0
408	Тула-Лазаревская	1699,2	738	41	2263	0
409	Ярославль-Усинск	1703	397	0	1558	0
410	Тверь-Астрахань	1710	114	0	565	0
411	Брянск-Мин. Воды	1711,3	916	0	1611	0
412	Брянск-Лоо	1713,7	718	0	873	0
413	Санкт-Петербург-Пермь	1728,4	14683	658	38502	0
414	Брянск-Сочи	1733,1	1230	0	1365	0
415	Тула-Лоо	1734,9	330	17	1124	0
416	Москва-Туапсе	1745	29332	736	32906	0
417	Петрозаводск-Белгород	1745,9	330	0	530	0
418	Тула-Сочи	1748,2	705	95	1631	0
419	Санкт-Петербург-Ульяновск	1752	1214	0	8106	0
420	Брянск-Адлер	1756,1	4721	0	5406	0
421	Киров-Омск	1759	937	18	4726	0
422	Мурманск-Псков	1763	0	0	2246	0
423	Смоленск-Краснодар	1770,4	1439	0	2905	0
424	Тула-Адлер	1778,7	1218	48	4266	0
425	Санкт-Петербург-Лихая	1782	2192	94	2832	0
426	Ярославль-Кавказская	1782,8	108	4	295	0
427	Ижевск-Когалым	1783	209	0	411	0
428	Тверь-Армавир	1798,4	129	0	438	0
429	Санкт-Петербург-Волгоград	1806,9	12135	0	30823	0
430	Смоленск-Пермь	1808	172	0	721	0
431	Ярославль-Краснодар	1813,9	493	1	1702	0
432	Мурманск-Тверь	1816,4	1143	39	2768	0
433	Апатиты-Москва	1819,4	4682	130	14295	0
434	Москва-Апатиты	1830,1	4388	149	14162	0
435	Москва-Белорецк	1831	347	0	1504	0
436	Москва-Лоо	1831,6	5883	133	12312	0
437	Тула-Владикавказ	1833,9	146	0	254	0
438	Москва-Прохладная	1843	2590	92	9104	0
439	Рославль-Анапа	1844	484	0	645	0
440	Москва-Орск	1846,9	15115	0	40429	0
441	Ярославль-Армавир	1848,2	79	6	279	0

Продолжение таблицы А.1

442	Белгород-Уфа	1860	532	0	1835	0
443	Череповец-Ростов-на-Дону	1862,1	137	0	572	0
444	Ярославль-Тюмень	1862,5	589	0	1837	0
445	Череповец-Челябинск	1869	502	0	523	0
446	Тверь-Новороссийск	1872,6	1073	23	1197	0
447	Киров-Волгоград	1873,2	502	1	1488	0
448	Санкт-Петербург-Шахтная	1880,4	1382	14	3834	0
449	Белгород-Архангельск	1884	432	0	811	0
450	Санкт-Петербург-Самара	1892,3	9192	267	22194	0
451	Рославль-Адлер	1893,3	458	0	590	0
452	Ижевск-Ноябрьск	1900,6	399	0	521	0
453	Череповец-Воркута	1901	164	0	171	0
454	Москва-Нальчик	1907,8	7558	0	7767	0
455	Киров-Сургут	1909,4	671	61	1715	0
456	Смоленск-Туапсе	1912,5	462	0	584	0
457	Тверь-Анапа	1912,9	2529	0	4306	0
458	Ярославль-Новороссийск	1915	1846	0	2284	0
459	Санкт-Петербург-Тольятти	1920	1071	0	3878	0
460	Киров-Татарская	1928	37	0	317	0
461	Смоленск-Уфа	1928	74	0	392	0
462	Тверь-Екатеринбург	1931,4	166	10	306	0
463	Москва-Магнитогорск	1933	2150	0	6010	0
464	Ярославль-Анапа	1943,6	4495	0	7586	0
465	Череповец-Тюмень	1948	230	0	801	0
466	Санкт-Петербург-Ростов-на-Дону	1959,3	19623	640	29189	0
467	Смоленск-Лео	1974,3	366	0	589	0
468	Тверь-Мин. Воды	1983,1	231	0	343	0
469	Москва-Усинск	1985	2853	0	16149	0
470	Тула-Челябинск	1988	87	0	465	0
471	Смоленск-Сочи	1992,8	858	0	832	0
472	Ярославль-Воркута	1998,2	2262	0	2844	0
473	Москва-Челябинск	2001,7	11636	1019	33131	0
474	Мурманск-Москва	2003,9	23926	586	48071	0
475	Тверь-Пятигорск	2004	164	0	277	0
476	Тула-Махачкала	2007,3	149	4	520	0
477	Ярославль-Туапсе	2010,2	770	8	2834	0
478	Ярославль-Лазаревская	2012,6	1657	13	4009	0
479	Бологое-Новороссийск	2037,4	302	2	364	0

Продолжение таблицы А.1

480	Ижевск-Ростов-на-Дону	2038,1	422	27	1306	0
481	Ярославль-Лоо	2044,5	581	2	1745	0
482	Санкт-Петербург-Староминская	2051,9	1784	43	2820	0
483	Киров-Когалым	2065,2	91	2	397	0
484	Санкт-Петербург-Ейск	2069	4735	0	5870	0
485	Бологое-Анапа	2075,5	725	0	1103	0
486	Москва-Курган	2076	4075	0	7743	0
487	Ижевск-Пурпе	2077	454	0	757	0
488	Ярославль-Сочи	2078,9	983	16	1635	0
489	Ярославль-Адлер	2082,1	3519	16	9885	0
490	Москва-Тюмень	2090,6	9186	443	18433	0
491	Киров-Ростов-на-Дону	2091,1	1072	30	2178	0
492	Санкт-Петербург-Екатеринбург	2101,4	13147	1107	45722	0
493	Санкт-Петербург-Бугульма	2120	504	0	1136	0
494	Ярославль-Лабытнанги	2124	551	55	627	0
495	Череповец-Краснодар	2145	237	0	1397	0
496	Ижевск-Армавир	2150,4	48	1	277	0
497	Санкт-Петербург-Тихорецкая	2157,7	1571	0	3339	0
498	Киров-Ноябрьск	2175,1	233	10	542	0
499	Ижевск-Староминская	2178,5	196	4	366	0
500	Смоленск-Екатеринбург	2189	341	0	1441	0
501	Тверь-Челябинск	2192	218	4	764	0
502	Санкт-Петербург-Астрахань	2193	4210	0	18042	1
503	Киров-Староминская	2201,2	446	5	435	0
504	Санкт-Петербург-Кавказская	2219,8	2419	0	5003	0
505	Тула-Мурманск	2232,1	288	0	591	0
506	Москва-Верхнеконд	2237	452	9	1250	0
507	Петрозаводск-Ростов-на-Дону	2244,1	326	14	1011	0
508	Череповец-Анапа	2282	727	0	1220	0
509	Санкт-Петербург-Армавир	2284,9	3301	0	8324	0
510	Череповец-Туапсе	2294,8	765	0	3760	0
511	Ижевск-Краснодар	2303,9	1506	26	4020	0
512	Санкт-Петербург-Тоннельная	2326,5	2232	87	2646	0

Продолжение таблицы А.1

513	Череповец-Лазаревская	2326,5	680	0	2231	0
514	Ижевск-Новый Уренгой	2339	1135	0	1947	0
515	Ижевск-Пятигорск	2341	120	0	398	0
516	Белгород-Челябинск	2341	806	0	2596	0
517	Москва-Петропавловск	2341,8	3377	0	11885	0
518	Киров-Пурпе	2346,1	95	0	327	0
519	Санкт-Петербург-Новороссийск	2352,5	11339	349	15717	0
520	Череповец-Лоо	2360,8	281	0	919	0
521	Санкт-Петербург-Воркута	2369	2270	0	4267	0
522	Череповец-Сочи	2378,7	252	0	635	0
523	Ижевск-Кисловодск	2379	203	0	765	0
524	Санкт-Петербург-Уфа	2380,4	6355	0	19944	0
525	Киров-Новосибирск	2386	1688	21	3928	0
526	Череповец-Адлер	2400,8	1163	0	3602	0
527	Санкт-Петербург-Анапа	2405,3	30853	0	42146	0
528	Москва-Лабытнанги	2407,8	4266	323	8744	0
529	Смоленск-Челябинск	2409	101	0	597	0
530	Киров-Краснодар	2415,7	1011	11	1333	0
531	Санкт-Петербург-Тюмень	2416,2	3431	0	11998	0
532	Киров-Кавказская	2419,6	126	0	306	4
533	Мурманск-Елец	2420	181	0	384	0
534	Ижевск-Анапа	2422,9	4391	0	4915	0
535	Москва-Приобье	2425	352	2	1434	0
536	Ярославль-Омск	2434,4	551	0	1835	0
537	Киров-Тоннельная	2448	423	8	718	0
538	Апатиты-Воронеж	2452,9	89	6	287	0
539	Ижевск-Туапсе	2463,6	693	7	2208	1
540	Киров-Новороссийск	2466	1816	43	2221	0
541	Санкт-Петербург-Мин. Воды	2467,4	4732	0	9125	0
542	Ижевск-Тоннельная	2468,5	1655	22	2987	0
543	Мурманск-Орел	2474,2	501	0	887	0
544	Орел-Мурманск	2477,8	415	0	637	0
545	Санкт-Петербург-Пятигорск	2487	2960	0	4721	0
546	Ижевск-Новороссийск	2488,2	2363	69	3691	0
547	Киров-Армавир	2495,5	126	4	392	0
548	Мурманск-Липецк	2498	250	0	507	0

Таблица А.2 – Распределение маршрутов следования пассажирских поездов по кластерам

№п.п.	Маршрут	Номер кластера
1	Брянск-Вязьма	1
2	Псков-Новгород	1
3	Ярославль-Ковров	1
4	Дно-Санкт-Петербург	1
5	Курск-Воронеж	1
6	Брянск-Смоленск	1
7	Москва-Павелец	1
8	Орел-Липецк	1
9	Брянск-Обнинское	1
10	Новгород-Бологое	1
11	Санкт-Петербург-Псков	1
12	Ярославль-Владимир	1
13	Бологое-Дно	1
14	Брянск-Курск	1
15	Смоленск-Ржев	1
16	Псков-Великие Луки	1
17	Орел-Белгород	1
18	Санкт-Петербург-Бологое	1
19	Брянск-Елец	1
20	Брянск-Бекасово	1
21	Череповец-Коноша	1
22	Ижевск-Казань	1
23	Москва-Бологое	1
24	Ржев-Окуловка	1
25	Тула-Липецк	1
26	Орел-Старый Оскол	1
27	Череповец-Ярославль	1
28	Курск-Лиски	1
29	Тула-Курск	1
30	Белгород-Воронеж	1
31	Москва-Сонково	1
32	Ижевск-Пермь	1
33	Бологое-Псков	1
34	Тверь-Владимир	1
35	Чудово-Тверь	1
36	Тверь-Тула	1
37	Бологое-Ярославль	1
38	Тверь-Рязань	1
39	Беломорск-Петрозаводск	1
40	Псков-Бологое	1
41	Орел-Москва	5

Продолжение таблицы А.2

42	Киров-Котлас	1
43	Тула-Льгов	1
44	Брянск-Липецк	1
45	Орел-Воронеж	1
46	Москва-Окуловка	1
47	Киров-Ижевск	1
48	Москва-Мичуринск	1
49	Москва-Арзамас	1
50	Тверь-Узловая	1
51	Тула-Смоленск	1
52	Ярославль-Коноша	1
53	Тверь-Дно	1
54	Тверь-Ковров	1
55	Ярославль-Нижний Новгород	1
56	Москва-Елец	1
57	Новгород-Тверь	1
58	Санкт-Петербург-Лихославль	1
59	Ярославль-Окуловка	1
60	Санкт-Петербург-Великие Луки	1
61	Киров-Нижний Новгород	1
62	Ижевск-Канаш	1
63	Тверь-Муром	1
64	Курск-Россошь	1
65	Петрозаводск-Новгород	1
66	Москва-Рыбинск	1
67	Санкт-Петербург-Череповец	5
68	Москва-Великие Луки	1
69	Санкт-Петербург-Торжок	5
70	Киров-Пермь	1
71	Ярославль-Рязань	1
72	Санкт-Петербург-Тверь	5
73	Беломорск-Архангельск	1
74	Ижевск-Котельнич	1
75	Орел-Лиски	1
76	Тула-Белгород	1
77	Костомукша-Петрозаводск	1
78	Череповец-Александров	1
79	Санкт-Петербург-Сонково	1
80	Бологое-Иваново	1
81	Брянск-Тверь	1
82	Тула-Старый Оскол	1
83	Тверь-Псков	1
84	Псков-Тверь	1
85	Белгород-Мичуринск	1

Продолжение таблицы А.2

86	Бологое-Тула	1
87	Москва-Чудово	1
88	Бологое-Рязань	1
89	Курск-Москва	5
90	Брянск-Воронеж	1
91	Курск-Смоленск	1
92	Москва-Курск	2
93	Ярославль-Арзамас	1
94	Тверь-Орел	1
95	Тула-Воронеж	1
96	Брянск-Тамбов	1
97	Киров-Арзамас	1
98	Тверь-Арзамас	1
99	Киров-Кострома	1
100	Москва-Льгов	5
101	Санкт-Петербург-Ржев	1
102	Ярославль-Котельнич	1
103	Тверь-Мичуринск	1
104	Петрозаводск-Бологое	1
105	Тула-Пенза	1
106	Москва-Воронеж	2
107	Дно-Москва	1
108	Бологое-Петрозаводск	1
109	Тула-Окуловка	1
110	Белгород-Тамбов	1
111	Ижевск-Екатеринбург	1
112	Новгород-Москва	5
113	Тверь-Нижний Новгород	1
114	Киров-Чусовская	1
115	Орел-Россошь	1
116	Тверь-Елец	1
117	Киров-Микунь	1
118	Санкт-Петербург-Рыбинск	1
119	Череповец-Москва	5
120	Тула-Лиски	1
121	Смоленск-Владимир	1
122	Москва-Саранск	5
123	Ижевск-Ульяновск	1
124	Киров-Вологда	1
125	Брянск-Лиски	1
126	Киров-Ковров	1
127	Тверь-Тамбов	1
128	Смоленск-Липецк	1
129	Мурманск-Беломорск	1

Продолжение таблицы А.2

130	Москва-Канаш	5
131	Москва-Ртищево	1
132	Череповец-Котельнич	1
133	Ярославль-Киров	1
134	Рославль-Воронеж	1
135	Москва-Касторная	1
136	Москва-Лиски	1
137	Тверь-Липецк	1
138	Ярославль-Мичуринск	1
139	Санкт-Петербург-Ярославль	5
140	Ярославль-Санкт-Петербург	5
141	Псков-Москва	5
142	Москва-Поворино	1
143	Санкт-Петербург-Вязьма	1
144	Киров-Владимир	1
145	Москва-Коноша	1
146	Петрозаводск-Псков	1
147	Курск-Тверь	1
148	Псков-Петрозаводск	1
149	Череповец-Котлас	1
150	Ижевск-Арзамас	3
151	Ижевск-Саранск	3
152	Чудово-Тула	3
153	Санкт-Петербург-Обнинское	3
154	Киров-Казань	3
155	Ярославль-Смоленск	3
156	Курск-Лихая	3
157	Москва-Балашов	3
158	Тула-Россошь	3
159	Брянск-Россошь	3
160	Ярославль-Саранск	3
161	Череповец-Архангельск	3
162	Киров-Череповец	3
163	Петрозаводск-Тверь	3
164	Москва-Валуйки	3
165	Костомукша-Санкт-Петербург	3
166	Ижевск-Сызрань	3
167	Санкт-Петербург-Беломорск	3
168	Ижевск-Рузаевка	3
169	Бологое-Нижний Новгород	3
170	Киров-Саранск	3
171	Санкт-Петербург-Ожерелье	3
172	Ярославль-Рузаевка	3
173	Белгород-Ртищево	3

Продолжение таблицы А.2

174	Тверь-Воронеж	3
175	Смоленск-Воронеж	3
176	Москва-Россошь	3
177	Санкт-Петербург-Коноша	3
178	Новгород-Владимир	3
179	Санкт-Петербург-Кострома	3
180	Ярославль-Котлас	3
181	Курск-Шахтная	3
182	Орел-Саратов	3
183	Тверь-Рузаевка	3
184	Санкт-Петербург-Рославль	3
185	Москва-Котельнич	3
186	Тверь-Канаш	3
187	Санкт-Петербург-Иваново	3
188	Ижевск-Нижний Новгород	3
189	Киров-Нижний Тагил	3
190	Санкт-Петербург-Владимир	3
191	Тула-Сызрань	3
192	Тула-Санкт-Петербург	3
193	Ярославль-Архангельск	3
194	Санкт-Петербург-Рязань	3
195	Беломорск-Вологда	3
196	Петрозаводск-Апатиты	3
197	Смоленск-Санкт-Петербург	3
198	Киров-Екатеринбург	3
199	Новгород-Ковров	3
200	Тверь-Белгород	3
201	Киров-Сосногорск	3
202	Смоленск-Нижний Новгород	3
203	Курск-Бологое	3
204	Ярославль-Воронеж	3
205	Ярославль-Глазов	3
206	Псков-Тула	3
207	Санкт-Петербург-Сухиничи	3
208	Смоленск-Лиски	3
209	Санкт-Петербург-Узловая	3
210	Тверь-Лиски	3
211	Ижевск-Пенза	3
212	Санкт-Петербург-Ковров	3
213	Курск-Ростов-на-Дону	3
214	Ижевск-Тюмень	3
215	Ижевск-Самара	3
216	Санкт-Петербург-Муром	3
217	Ижевск-Сенная	3

Продолжение таблицы А.2

218	Киров-Пенза	3
219	Белгород-Пенза	3
220	Брянск-Саратов	3
221	Ярославль-Лиски	3
222	Смоленск-Вологда	3
223	Апатиты-Архангельск	3
224	Тверь-Казань	3
225	Санкт-Петербург-Рязск	3
226	Череповец-Глазов	3
227	Москва-Иловля	3
228	Чудово-Нижний Новгород	3
229	Тула-Самара	3
230	Киров-Ульяновск	3
231	Киров-Серов	3
232	Санкт-Петербург-Брянск	3
233	Смоленск-Россошь	3
234	Смоленск-Пенза	3
235	Белгород-Ростов-на-Дону	3
236	Курск-Староминская	3
237	Белгород-Ярославль	3
238	Белгород-Бологое	3
239	Тверь-Саратов	3
240	Орел-Санкт-Петербург	3
241	Ижевск-Вологда	3
242	Мурманск-Петрозаводск	3
243	Ярославль-Микунь	3
244	Ижевск-Ковров	3
245	Новгород-Нижний Новгород	3
246	Ярославль-Ульяновск	3
247	Санкт-Петербург-Мичуринск	3
248	Орел-Ростов-на-Дону	3
249	Киров-Тверь	3
250	Санкт-Петербург-Арзамас	3
251	Ярославль-Россошь	3
252	Ижевск-Саратов	3
253	Москва-Лихая	3
254	Ярославль-Сызрань	3
255	Москва-Котлас	3
256	Москва-Агрыз	3
257	Курск-Тихорецкая	3
258	Санкт-Петербург-Елец	3
259	Тула-Шахтная	3
260	Белгород-Окуловка	3
261	Ижевск-Владимир	3

Продолжение таблицы А.2

262	Брянск-Шахтная	3
263	Киров-Челябинск	3
264	Киров-Печора	3
265	Бологое-Казань	3
266	Ярославль-Сыктывкар	3
267	Москва-Глазов	3
268	Санкт-Петербург-Тамбов	3
269	Мурманск-Архангельск	3
270	Ярославль-Пермь	3
271	Курск-Кавказская	3
272	Москва-Шахтная	3
273	Тула-Ростов-на-Дону	3
274	Орел-Староминская	3
275	Санкт-Петербург-Липецк	3
276	Санкт-Петербург-Котлас	3
277	Петрозаводск-Тула	3
278	Киров-Тюмень	3
279	Санкт-Петербург-Курск	3
280	Тула-Петрозаводск	3
281	Санкт-Петербург-Котельнич	3
282	Бологое-Саратов	3
283	Белгород-Сызрань	7
284	Курск-Краснодар	7
285	Смоленск-Саратов	7
286	Череповец-Воронеж	7
287	Брянск-Ростов-на-Дону	7
288	Курск-Армавир	7
289	Санкт-Петербург-Архангельск	7
290	Москва-Бугульма	7
291	Череповец-Пермь	7
292	Санкт-Петербург-Воронеж	7
293	Санкт-Петербург-Апатиты	7
294	Киров-Усинск	7
295	Санкт-Петербург-Киров	7
296	Белгород-Краснодар	7
297	Ярославль-Сосногорск	7
298	Мурманск-Коноша	7
299	Киров-Верхнеконд	7
300	Апатиты-Новгород	7
301	Брянск-Староминская	7
302	Тула-Ейск	7
303	Санкт-Петербург-Канаш	7
304	Тверь-Волгоград	7
305	Санкт-Петербург-Ртищево	7

Продолжение таблицы А.2

306	Москва-Микунь	7
307	Киров-Смоленск	7
308	Москва-Беломорск	7
309	Белгород-Самара	7
310	Апатиты-Вологда	7
311	Киров-Самара	7
312	Курск-Туапсе	7
313	Санкт-Петербург-Белгород	7
314	Орел-Краснодар	7
315	Рославль-Ростов-на-Дону	7
316	Курск-Анапа	7
317	Смоленск-Шахтная	7
318	Москва-Староминская	7
319	Санкт-Петербург-Лиски	7
320	Курск-Лазаревская	7
321	Тула-Кавказская	7
322	Апатиты-Окуловка	7
323	Смоленск-Самара	7
324	Москва-Пермь	7
325	Курск-Мин. Воды	7
326	Москва-Сыктывкар	7
327	Курск-Лоо	7
328	Санкт-Петербург-Микунь	7
329	Санкт-Петербург-Чебоксары	7
330	Москва-Костомукша	7
331	Петрозаводск-Орел	7
332	Курск-Сочи	7
333	Москва-Тихорецкая	7
334	Курск-Пятигорск	7
335	Санкт-Петербург-Мурманск	7
336	Санкт-Петербург-Поворино	7
337	Киров-Саратов	7
338	Тула-Армавир	7
339	Санкт-Петербург-Пенза	7
340	Санкт-Петербург-Саранск	7
341	Санкт-Петербург-Казань	7
342	Курск-Адлер	7
343	Апатиты-Бологое	7
344	Ижевск-Тверь	7
345	Курск-Кисловодск	7
346	Москва-Оренбург	7
347	Тверь-Ростов-на-Дону	7
348	Белгород-Анапа	7
349	Смоленск-Ростов-на-Дону	7

Продолжение таблицы А.2

350	Бологое-Волгоград	7
351	Бологое-Апатиты	7
352	Ижевск-Лиски	7
353	Санкт-Петербург-Россошь	7
354	Москва-Кавказская	7
355	Орел-Туапсе	7
356	Тула-Краснодар	7
357	Мурманск-Новгород	7
358	Тула-Уфа	7
359	Киров-Приобье	7
360	Брянск-Краснодар	7
361	Санкт-Петербург-Сыктывкар	7
362	Санкт-Петербург-Саратов	7
363	Москва-Ейск	7
364	Киров-Лиски	7
365	Мурманск-Вологда	7
366	Орел-Лазаревская	7
367	Москва-Уфа	7
368	Москва-Чусовская	7
369	Ярославль-Ростов-на-Дону	7
370	Ярославль-Екатеринбург	7
371	Ижевск-Волгоград	7
372	Ярославль-Печора	7
373	Тверь-Пермь	7
374	Орел-Люо	7
375	Москва-Армавир	7
376	Киров-Воркута	7
377	Апатиты-Псков	7
378	Орел-Мин. Воды	7
379	Москва-Дружинино	7
380	Орел-Сочи	7
381	Москва-Сосногорск	7
382	Петрозаводск-Курск	7
383	Белгород-Адлер	7
384	Смоленск-Староминская	7
385	Курск-Петрозаводск	7
386	Тверь-Ейск	7
387	Петрозаводск-Воронеж	7
388	Мурманск-Окуловка	7
389	Смоленск-Архангельск	7
390	Орел-Адлер	7
391	Череповец-Екатеринбург	7
392	Апатиты-Тверь	7
393	Тула-Мин. Воды	7

Продолжение таблицы А.2

394	Бологое-Ростов-на-Дону	7
395	Киров-Россошь	7
396	Ижевск-Сургут	7
397	Ярославль-Староминская	7
398	Мурманск-Бологое	7
399	Рославль-Краснодар	7
400	Брянск-Туапсе	7
401	Тверь-Апатиты	7
402	Тула-Анапа	7
403	Бологое-Мурманск	4
404	Санкт-Петербург-Сосногорск	4
405	Тула-Туапсе	4
406	Брянск-Лазаревская	4
407	Ярославль-Уфа	4
408	Тула-Лазаревская	4
409	Ярославль-Усинск	4
410	Тверь-Астрахань	4
411	Брянск-Мин. Воды	4
412	Брянск-Лоо	4
413	Санкт-Петербург-Пермь	4
414	Брянск-Сочи	4
415	Тула-Лоо	4
416	Москва-Туапсе	4
417	Петрозаводск-Белгород	4
418	Тула-Сочи	4
419	Санкт-Петербург-Ульяновск	4
420	Брянск-Адлер	4
421	Киров-Омск	4
422	Мурманск-Псков	4
423	Смоленск-Краснодар	4
424	Тула-Адлер	4
425	Санкт-Петербург-Лихая	4
426	Ярославль-Кавказская	4
427	Ижевск-Когалым	4
428	Тверь-Армавир	4
429	Санкт-Петербург-Волгоград	4
430	Смоленск-Пермь	4
431	Ярославль-Краснодар	4
432	Мурманск-Тверь	4
433	Апатиты-Москва	4
434	Москва-Апатиты	4
435	Москва-Белорецк	4
436	Москва-Лоо	4
437	Тула-Владикавказ	4

Продолжение таблицы А.2

438	Москва-Прохладная	4
439	Рославль-Анапа	4
440	Москва-Орск	4
441	Ярославль-Армавир	4
442	Белгород-Уфа	4
443	Череповец-Ростов-на-Дону	4
444	Ярославль-Тюмень	4
445	Череповец-Челябинск	4
446	Тверь-Новороссийск	4
447	Киров-Волгоград	4
448	Санкт-Петербург-Шахтная	4
449	Белгород-Архангельск	4
450	Санкт-Петербург-Самара	4
451	Рославль-Адлер	4
452	Ижевск-Ноябрьск	4
453	Череповец-Воркута	4
454	Москва-Нальчик	4
455	Киров-Сургут	4
456	Смоленск-Туапсе	4
457	Тверь-Анапа	4
458	Ярославль-Новороссийск	4
459	Санкт-Петербург-Тольятти	4
460	Киров-Татарская	4
461	Смоленск-Уфа	4
462	Тверь-Екатеринбург	4
463	Москва-Магнитогорск	4
464	Ярославль-Анапа	4
465	Череповец-Тюмень	4
466	Санкт-Петербург-Ростов-на-Дону	4
467	Смоленск-Лео	4
468	Тверь-Мин. Воды	4
469	Москва-Усинск	4
470	Тула-Челябинск	4
471	Смоленск-Сочи	4
472	Ярославль-Воркута	4
473	Москва-Челябинск	4
474	Мурманск-Москва	4
475	Тверь-Пятигорск	4
476	Тула-Махачкала	4
477	Ярославль-Туапсе	4
478	Ярославль-Лазаревская	4
479	Бологое-Новороссийск	4
480	Ижевск-Ростов-на-Дону	4
481	Ярославль-Лео	4

Продолжение таблицы А.2

482	Санкт-Петербург-Староминская	4
483	Киров-Когалым	4
484	Санкт-Петербург-Ейск	4
485	Бологое-Анапа	4
486	Москва-Курган	4
487	Ижевск-Пурпе	4
488	Ярославль-Сочи	4
489	Ярославль-Адлер	4
490	Москва-Тюмень	4
491	Киров-Ростов-на-Дону	4
492	Санкт-Петербург-Екатеринбург	4
493	Санкт-Петербург-Бугульма	6
494	Ярославль-Лабытнанги	6
495	Череповец-Краснодар	6
496	Ижевск-Армавир	6
497	Санкт-Петербург-Тихорецкая	6
498	Киров-Ноябрьск	6
499	Ижевск-Староминская	6
500	Смоленск-Екатеринбург	6
501	Тверь-Челябинск	6
502	Санкт-Петербург-Астрахань	6
503	Киров-Староминская	6
504	Санкт-Петербург-Кавказская	6
505	Тула-Мурманск	6
506	Москва-Верхнеконд	6
507	Петрозаводск-Ростов-на-Дону	6
508	Череповец-Анапа	6
509	Санкт-Петербург-Армавир	6
510	Череповец-Туапсе	6
511	Ижевск-Краснодар	6
512	Санкт-Петербург-Тоннельная	6
513	Череповец-Лазаревская	6
514	Ижевск-Новый Уренгой	6
515	Ижевск-Пятигорск	6
516	Белгород-Челябинск	6
517	Москва-Петропавловск	6
518	Киров-Пурпе	6
519	Санкт-Петербург-Новороссийск	6
520	Череповец-Лоо	6
521	Санкт-Петербург-Воркута	6
522	Череповец-Сочи	6
523	Ижевск-Кисловодск	6
524	Санкт-Петербург-Уфа	6
525	Киров-Новосибирск	6

Продолжение таблицы А.2

526	Череповец-Адлер	6
527	Санкт-Петербург-Анапа	6
528	Москва-Лабытнанги	6
529	Смоленск-Челябинск	6
530	Киров-Краснодар	6
531	Санкт-Петербург-Тюмень	6
532	Киров-Кавказская	6
533	Мурманск-Елец	6
534	Ижевск-Анапа	6
535	Москва-Приобье	6
536	Ярославль-Омск	6
537	Киров-Тоннельная	6
538	Апатиты-Воронеж	6
539	Ижевск-Туапсе	6
540	Киров-Новороссийск	6
541	Санкт-Петербург-Мин. Воды	6
542	Ижевск-Тоннельная	6
543	Мурманск-Орел	6
544	Орел-Мурманск	6
545	Санкт-Петербург-Пятигорск	6
546	Ижевск-Новороссийск	6
547	Киров-Армавир	6
548	Мурманск-Липецк	6

