

На правах рукописи



СЕРЕДОВ ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

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

2.9.4. Управление процессами перевозок

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва — 2022

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Пазойский Юрий Ошарович

Официальные оппоненты: **Головнич Александр Константинович,**
доктор технических наук, доцент, Белорусский государственный университет транспорта, Испытательный центр железнодорожного транспорта, начальник центра;

Каликина Татьяна Николаевна,
кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», кафедра «Организация перевозок и безопасность на транспорте», заведующий кафедрой.

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения».

Защита состоится «28» декабря 2022 года в 14:00 на заседании диссертационного совета 40.2.002.02 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д.9, стр. 9, ауд. 2505.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте РУТ (МИИТ) <https://miit.ru/>.

Автореферат разослан «___» ноября 2022 года.

Ученый секретарь

диссертационного совета



Сидоренко Валентина Геннадьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 разработанности темы исследования

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. Снитомы, 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 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 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. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (100 библиографических наименований) и двух приложений. Работа содержит 192 машинописных страницы основного текста, 59 рисунков, 34 таблицы. Объем приложений – 29 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертационного исследования, представлена общая характеристика проблемы, определены цели и основные задачи исследования.

В первой главе проведен анализ научных исследований в сфере освоения пассажиропотока на железнодорожном транспорте, определены направления дальнейших исследований: обоснована необходимость разработки математических моделей расчета параметров маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования на основе применения перспективных корреспонденций пассажиропотоков, включающих данные о предпочтениях пассажиров в условиях многофакторности при выборе поездов, что позволяет устранить неясность освоения пассажиропотоков поездами и использовать освоения одной корреспонденции поездами различных маршрутов следования. Показано, что учет предпочтений пассажиров при расчете параметров маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования будет способствовать 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 компаний-перевозчиков, а возможность выполнения беспересадочных сообщений для основного потока пассажиров будет способствовать повышению качества и комфортабельности пассажирских перевозок и, таким образом, повысится конкурентоспособность железнодорожного транспорта на рынке транспортных услуг.

Проведен аналитический обзор научных исследований в сфере освоения пассажиропотока на железнодорожном транспорте и сделаны выводы об отсутствии в предшествующих работах учета информации, учитывающей предпочтения пассажиров по выбору поездов при определении маршрутов пассажирских поездов дальнего следования.

Во второй главе выполнена разработка методики расчета параметров маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования по факторам учета предпочтений пассажиров по выбору поездов. Показано, что 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.

Следует отметить, что при учете этих факторов потребуется обработка множества данных, часть из которых может содержать размытость и неточность формулировок от пассажиров. Примерами таких данных могут быть слабо формализуемые рассуждения: «много», «мало», «часто», «редко», «около ...» и др., поэтому для перевода поступающей от пассажиров информации к формату нечеткой базы знаний целесообразно использовать теорию нечетких множеств.

При этом 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.

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

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

В случае непрерывного множества X используют обозначение вида:

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \frac{\mu_A(x)}{x}, \quad (2)$$

где символы \sum и \int в формулах 1 и 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} . 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}).

Аналитическое представление в виде простой математической функции упрощают формализации нечеткой поступающей информации. 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.

Пример построенных функции принадлежности лингвистической переменной «Вероятность выбора поезда пассажирами» со значениями переменной, характеризующей увеличение вероятности выбора поезда пассажирами (выраженное в %) в зависимости от его расписания движения, представлен на рисунке 1. Лингвистические оценки, характеризующие поезда пассажирами, приняты следующие: «высокая», «выше средней», «ниже средней», «низкая».



Рисунок 1 – График функций принадлежности лингвистических оценок вероятности выбора поезда пассажирами

С целью достижения оптимального результата 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 (рисунок 2).

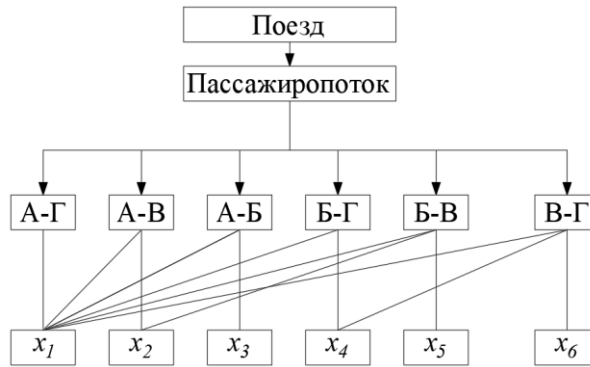


Рисунок 2 – Пример альтернативных вариантов выбора пассажирских поездов

Приведение поступающей от пассажиров информации к формату нечеткой базы знаний, а также и ее выход в виде конкретного числового значения категории обеспечивается функциями принадлежности. В исследовании рассмотрена применимость популярных косвенных методов построения функций принадлежности. Рассмотрен классический метод Т. Саати, модифицированный метод Т. Саати и предложено сочетание метода Т. Саати с использованием в сравнительных вариантах альтернатив треугольных нечетких чисел.

Проведенные в диссертационном исследовании эксперименты построения функций принадлежности показали, что последний подход, предусматривающий замену экспертных оценок нечеткими числами с оценками значимости (рисунок 3), позволяет на этапе извлечения эвристических знаний экспертов учесть нечеткость в ответах и получить более точное и адекватное отражение экспертной информации в описании качественных факторов, характеризующих пассажирские поезда.



Рисунок 3 – Графическое изображение треугольных нечетких чисел оценок значимости объекта исследования

Полученные значения функции принадлежности позволяют установить поезда всех назначений в порядке предпочтения для пассажиров. В этом случае условие зависимости количества поездов от максимального учета предпочтений пассажиров будет иметь вид:

$$\mu_1(x_1)\chi + \mu_2(x_2)\chi + \dots + \mu_{\tilde{\varphi}}(x_j)\chi = \chi, \quad (3)$$

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, 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):

$$x_j \approx \mu_{\bar{\varphi}}(x_j)\chi . \quad (4)$$

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

При расчете параметров маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования совместно с учетом предпочтений пассажиров также учитываются следующие основные условия:

– условие обеспечения беспересадочного сообщения пассажиров. Данное условие должно устанавливать равенство между величиной корреспонденции пассажиропотока и общим количеством пассажиров данной корреспонденции, следующих в поездах различных назначений без пересадки в пути следования:

$$P_i = \sum_{i=1}^J \delta_{ij} y_{ij}; \quad \forall i, \quad (5)$$

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:

$$\delta_{ik} a_j x_j \geq \sum_{i=1}^I \delta_{ijk} y_{ij}; \quad \forall i, \forall k, \quad (6)$$

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:

$$\sum_{i=1}^j \delta_{ik} a_i x_j \geq \Gamma_k, \forall k, \quad (7)$$

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,

$$\Gamma_k = \sum_{i=1}^j \delta_{ik} \Pi_i, \forall k, \quad (8)$$

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:

$$F = \sum_{j=1}^l E_j x_j \rightarrow \min, \quad (9)$$

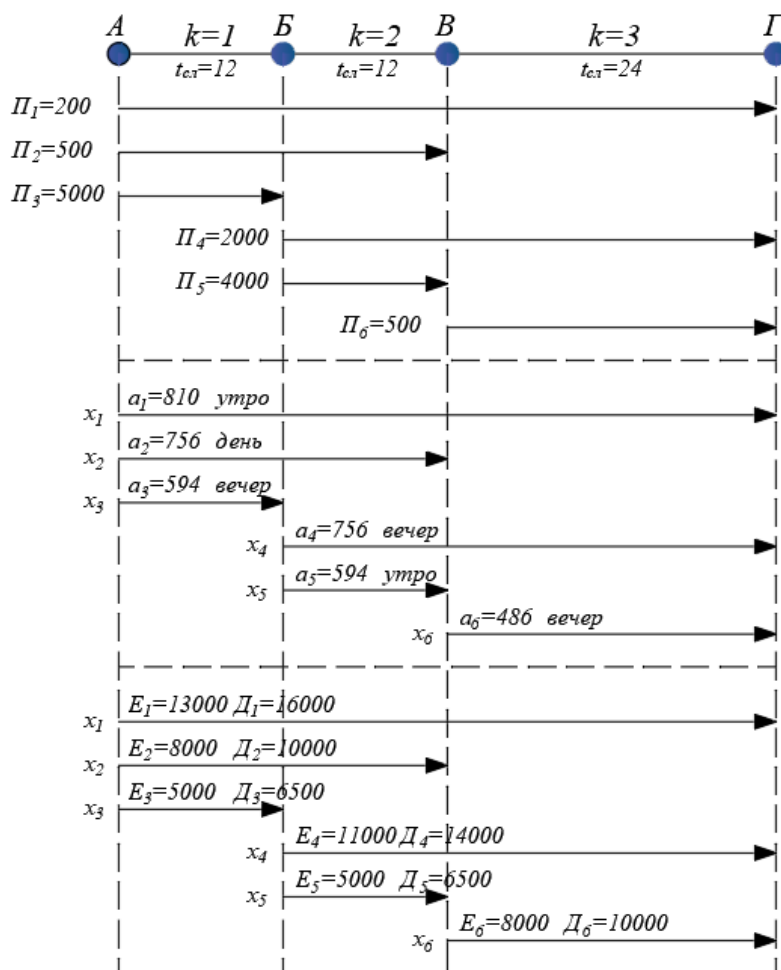
где E_j – эксплуатационные затраты, приходящиеся на один поезд j -го назначения, включающие в себя расходы на поездную и вагонную составляющие.

Определено потребное число поездов на участке железной дороги с учетом и без учета предпочтений пассажиров по выбору поездов при условии выполнения требований по обеспечению беспересадочного сообщения по исходным данным, представленным на рисунке 4.

Сравнительные результаты определения потребного количества поездов без учета предпочтений пассажиров по выбору поездов и с учетом предпочтений пассажиров по выбору поездов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные результаты расчетов

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:		$F_1 = 89\,000 \text{ усл. ед.}$
		$F_2 = 105\,000 \text{ усл. ед.}$



Условные обозначения:

Π_i – мощности струй пассажиропотоков, пасс/сут;

x_j – количество поездов j – го назначения;

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

T_j – периоды отправления поездов (утро; день; вечер; ночь);

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

D_i – доходная составляющая с поезда j – го назначения при 100% использовании вместимости подвижного состава, у.е.

Рисунок 4 – Расчетный участок железной дороги

Результаты определения потребного 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 организацию большого числа поездов на участке железной дороги и, таким образом, увеличатся затраты на перевозку пассажиров. Однако учет предпочтений пассажиров по выбору поездов способствует увеличению спроса железнодорожного транспорта и не позволит части пассажиропотока перейти на альтернативные виды транспорта.

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

$$P^* = P_j(1 - k_{от}), \quad (10)$$

где P_j – пассажиропоток j -го поездного назначения;

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

Зависимость прибыли перевозчика от коэффициента оттока пассажиропотока на другие виды транспорта представлена на рисунке 5.

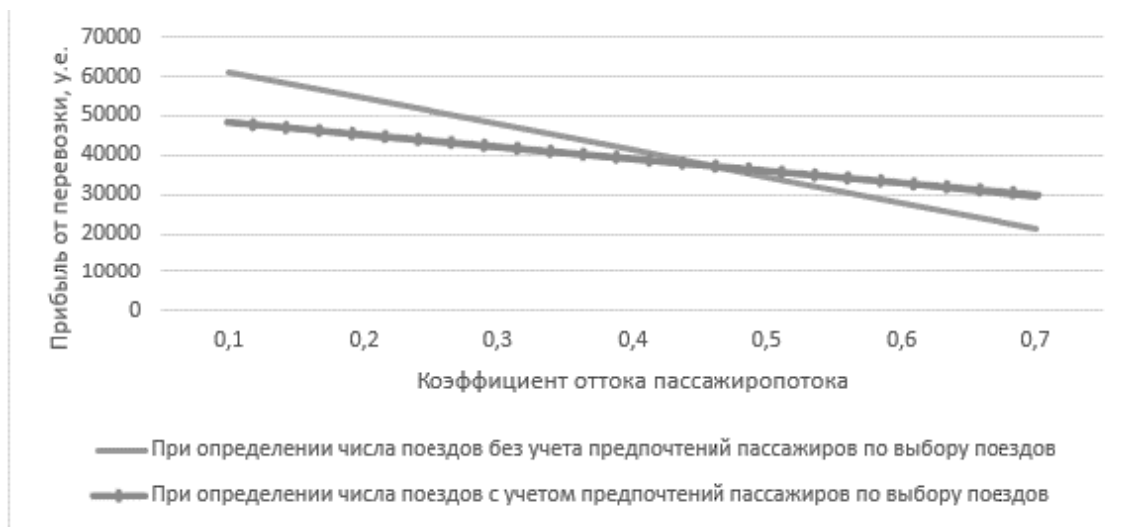


Рисунок 5 – Зависимость прибыли перевозчика от коэффициента оттока пассажиропотока на другие виды транспорта

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.

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:

$$P_{iq} = \sum_{j=1}^J \sum_{v=q-\alpha}^{q+\alpha'} \delta_{ijv} y_{ijqv}; \quad \forall i; \forall q, \quad (11)$$

где P_{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;

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

При этом следует учитывать, что не во всех случаях пассажир способен приобрести билет в вагонах v -го типа, так как он может не соответствовать его требованиям. В связи с этим вводится ограничение:

$$(q - \alpha \leq v \leq q + \alpha'), \quad (12)$$

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

– обеспечения потребности пассажиров на места в вагонах разных типов:

$$\sum_{j=1}^J y_{ijqq} \geq \omega_i P_{iq}, \quad \forall i; \forall q; \quad (13)$$

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

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

$$\sum_{i=1}^I \sum_{q=1}^Q \delta_{ijk} y_{ijqv} \leq \delta_{jk} m_{jv} a_v x_j; \quad \forall j, v, k \quad (14)$$

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:

$$F = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^b \sum_{v=1}^Q \sum_{q=1}^Q D_{iv} y_{ijqv} - \sum_{j=1}^b E_j x_j \rightarrow \max, \quad (15)$$

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.

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

– освоения пассажиропотоков для участка расчетной сети:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{q=1}^Q \delta_{ijk} y_{ijqv} \leq \delta_{jk} a_v h_{jv}; \quad \forall j, v, k, \quad (16)$$

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:

$$(m_j^{\max} - Q) x_j \geq \sum_{v=1}^Q h_{jv}; \quad \forall j, \quad (17)$$

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:

$$m_{jh} = \frac{h_{jv}}{x_j}; \quad \forall j; \forall v; m_{jv} \in Z. \quad (18)$$

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:

$$F = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{v=1}^Q \sum_{q=1}^Q D_{iv} y_{ijqv} - \sum_{j=1}^J C_j x_j - \sum_{j=1}^J \sum_{v=1}^Q c_{jv} h_{jv} \rightarrow \max, \quad (19)$$

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.

Сравнительные результаты определения маршрутов пассажирских поездов дальнего следования при заданных (пример 1) и заданных (пример 2) схемах составов поездов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительные результаты определения маршрутов пассажирских поездов дальнего следования

Поездное назначение	Пример 1					Пример 2				
	Число поездов	Схема состава поезда			Коэф. исп. вмес-ти	Число поездов	Схема состава поезда			Коэф. исп. вмес-ти
		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 рассмотренных примерах показывают эффективность использования математической модели расчета маршрутной сети пассажирских поездов дальнего следования и определения схем составов поездов.

Эксплуатационные расходы при выборе оптимального варианта маршрутов пассажирских поездов дальнего следования сформированы в методике определения эксплуатационных затрат, приходящихся на пассажирский поезд дальнего следования.

Расходы за один рейс поезда определяются по формуле:

$$E_j = c_j^{\text{ваг}} + C_j^{\text{поезд}}, \quad (20)$$

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

$$C_j^{\text{поезд}} = C_j^{\text{лок}} + F_j^{\text{инф}}, \quad (21)$$

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:

$$c_j^{\text{ваг}} = c_j^{\text{зав}} + c_j^{\text{пост}}, \quad (22)$$

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

Локомотивная составляющая расходов определяется по формуле:

$$C_j^{\text{лок}} = \sum N_j^o * t^o * (e_{\text{лок-ч}}^o + e_{\text{бр-ч}}^o) + C_{j \text{ доп}}^o, \quad (23)$$

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;

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

Инфраструктурная составляющая расходов затрат компании-перевозчика связаны с выполненными эксплуатационными показателями: поездо-километры, вагоно-километры, отправленные вагоны. Для каждого показателя установлен свой уровень тарифа: $I1, I2, I3$.

Формула для определения инфраструктурной составляющей принимает вид:

$$F_j^{\text{инф}} = I1 + (I2 + I3) \sum_{v=1}^Q h_j, \quad (24)$$

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.

В третьей главе проведена работа по определению закономерности распределения пассажиропотока по типам мест в пассажирских поездах дальнего следования. Используемый кластерный анализ позволил уменьшить размерность задачи с минимальной потерей информации. Проведен корреляционный анализ данных пассажиров для определения вагонов «нужных» типов в составах поездов в зависимости от установленных переменных данных.

Кластерный анализ – это способ классификации объектов по их признакам в сравнительно однородные группы (кластеры). Кластер — группа элементов, характеризующихся общим свойством.

В исследованиях, включающих кластерный анализ, можно выделить этапы, представленные на рисунке 6.



Рисунок 6 – Этапы исследований, включающих кластерный анализ

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

В диссертационном исследовании определение закономерности распределения пассажиропотока по типам мест в пассажирских поездах дальнего

следования выполнена с применением наиболее популярный 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.

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:

$$R_i = \sqrt{\sum_{i=1}^n [(M^1 - M_{(i)})^2 + (L^1 - L_{(i)})^2]}, \quad (25)$$

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:

$$\sigma_k = \frac{1}{S_k} \sum T_k, \quad (26)$$

где S_k – количество точек в группе;

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;

– исчерпано заданное количество итераций;

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.

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:

$$\omega = \frac{\sum l_i^j}{\sum L^j}, \quad (27)$$

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.

Установлена закономерность распределения пассажиропотока по типам мест в зависимости от дальности маршрутов пассажирских поездов дальнего следования. 548 исследуемых маршрутов пассажирских поездов дальнего следования распределились по установленному числу кластеров (7). Полученные данные представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Данные по группам

№ группы	Размер группы (число маршрутов)	Диапазон дальности маршрутов, км	Диапазон мощностей пассажиропотока, пасс/сут
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

Описание части сформированных групп маршрутов и распределение пассажиров по вагонам в этих группах представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Распределение пассажиров по вагонам и описание групп маршрутов

№ группы	Распределение пассажиров по вагонам, доли	Описание 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.
...		
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.

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.

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.

Для понимания степени связи между показателями используется коэффициент детерминации η ($\eta = r^2$). Коэффициент детерминации показывает какую долю вариабельности одного из показателей объекта способно объяснить изменение другого показателя. Зависимость доли вариабельности от коэффициента корреляции представлена на рисунке 7.

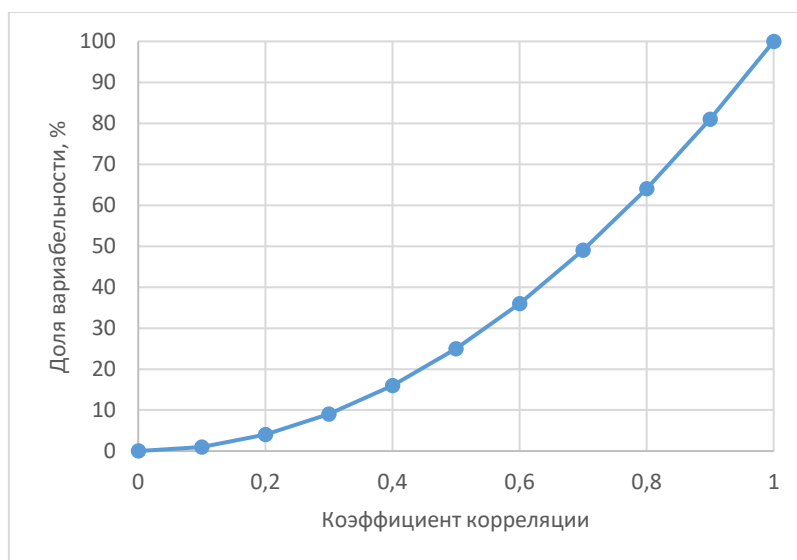


Рисунок 7 – Зависимость доли вариабельности от коэффициента корреляции

В качестве количества пассажиров, следующих в более комфортных типах вагонов, принято суммарное значение количества пассажиров, следующих в вагонах купе и вагонах класса «Люкс». Корреляционный анализ выполнен в программе «STATISTICA».

Сводные данные корреляционного анализа представлены на рисунке 8.

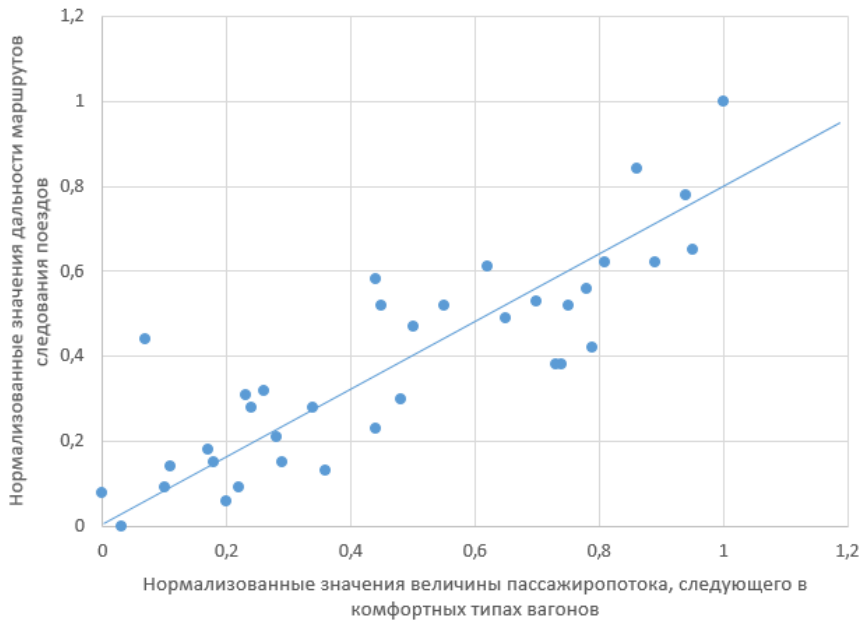


Рисунок 8 – Сводные данные корреляционного анализа, показывающие зависимости между переменными «дальность маршрута» и «величины пассажиропотока, следующего в комфортных типах вагонов»

Анализируя зависимость между переменными «дальность маршрута следования поезда» и «количество пассажиров, следующих в более комфортных типах вагонов» (рисунок 8), 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.

На основании проделанной работы установлено, что между такими переменными данных 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 варибельность одной переменной способно объяснить 72% варибельности второй переменной.

В четвертой главе проведена апробация предложенных математических моделей на полигоне железной дороги *Белгород–Льгов–Москва*.

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 третьей главе. Данные для исследования характеризуют выбор типов вагонов пассажирами на Московской и Юго-Восточной железных дорогах за 2021 год на различных маршрутах следования поездов.

Предлагается оптимизировать маршрут пассажирских поездов дальнего следования на полигоне *Белгород–Льгов–Москва* путем упразднения поезда «*Курск–Льгов–Москва*» и формирования поездов «*Льгов–Москва*» и «*Льгов–Курск*»; использования математической модели расчета маршрутной

сети пассажирских поездов дальнего следования и определения схем составов поездов.

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 полигоне железной дороги *Белгород–Льгов–Москва* сократится более чем на 25%, а населенность поездов увеличится на 17,6%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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 необходимое 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 необходимого 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 наполненность поездов на 17,6%.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

а) в рецензируемых периодических изданиях:

1. 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;

2. Середов, Е.А. Формирование маршрутной сети пассажирских поездов с учетом предпочтений пассажиров/ Е.А. Середов // Экономика железных дорог. – 2021. – № 11. – С. 34–43;

3. 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.

б) в других изданиях и материалах конференций

4. 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;

5. 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;

6. 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;

7. Середов, Е.А. Установление перспективных схем составов пассажирских поездов/ Е.А. Середов // E-Scio. – 2022. – № 7 (70). – С. 339–346. EDN: MUOJEZ.

Середов Евгений Александрович

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

2.9.4. Управление процессами перевозок

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Подписано в печать «__» _____ 2022 г. Заказ № _____ Формат 60x90/16

Объём 1,5 усл. п.л.

Тираж 80 экз.

127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, дом 9, стр. 9.