

Ж.Т. Пиров, А.Ю. Михайлов. – Текст: непосредственный // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного тех-

нического университета (МАДИ). 2019. № 2 (57). С. 16-25.

УДК 656.2, 656.072

Гантимурова Юлия Олеговна,
к.т.н., доцент, доцент кафедры «Управление на автомобильном транспорте»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: juliapoltavskaya@mail.ru

ПЛАНИРОВАНИЕ ТУРИСТСКИХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАРШРУТОВ С УЧЕТОМ ТРАНСПОРТНОГО СПРОСА

Gantimurova Y.O.

PLANNING TOURIST RAILWAY ROUTES TAKEN INTO ACCOUNT OF TRANSPORT DEMAND

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы использования железнодорожного транспорта как основы развития туристского потенциала регионов. Приведенные экономико-математические модели дискретного оптимального планирования деятельности железнодорожного туризма позволяют учесть факторы риска и определить совокупность эффективных маршрутов, которые являются наиболее выгодными при условии соответствия установленным требованиям.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, транспортный спрос, туристские маршруты, факторы риска, сеть железных дорог.

Abstract. The article discusses the problems of using railway transport as the basis for the development of the tourism potential of the regions. The presented economic and mathematical models of discrete optimal planning of railway tourism activities make it possible to take into account risk factors and determine sets of effective routes that are the most profitable, subject to compliance with established requirements.

Keywords: railway transport, transport demand, tourist routes, risk factors, railway network.

Транспортный сектор выступает в качестве основного элемента развития и экономического роста любой страны и является фундаментальным компонентом ее инфраструктуры [1]. Эффективная работа транспортных систем – необходимое условие национальной безопасности, развития внешнеэкономических сфер деятельности, обеспечения уровня жизни населения. В настоящее время транспорт является важным фактором экономической интеграции регионов и развития международного сотрудничества. Он устанавливает взаимодействие, культурный обмен традициями (как между континентами, так и отдельными регионами), способствует удовлетворению потребностей в передвижениях всех слоев населения [2].

Железнодорожный транспорт имеет основополагающее значение для экономики любого государства, поскольку осуществляет перевозочную деятельность пассажиров, грузов и багажа. Такие факторы, как загрузка улично-дорожной сети, дорожно-транспортные происшествия, загрязнение воздуха, шум

от транспортных средств, обуславливают привлекательность и конкурентоспособность железнодорожного транспорта за счет обеспечения надежной мобильности населения. В социальной сфере железные дороги вносят положительный вклад в реализацию концепции надежной мобильности с учетом стандартов безопасности железнодорожного транспорта [3, 4].

Одним из актуальных направлений развития железнодорожного транспорта на сегодняшний день выступает туризм, который является эффективным инструментом расширения жизненного пространства человека и имеет важное культурное значение. При организации туристских перевозок железнодорожным транспортом операторам необходимо учитывать внешние и внутренние риски [5], поэтому разработка многоэтапных моделей планирования маршрутов с учетом транспортного спроса является актуальным направлением исследования. Это поможет определить оптимальную группу маршрутов и последовательность их ввода в эксплуата-

цию на определенном участке. Туризм – одна из наиболее быстро развивающихся и высокодоходных отраслей мировой экономики. Железнодорожный туризм в последнее время становится популярным среди самых разных категорий людей, поскольку путешествие по железной дороге имеет определенные преимущества по сравнению с другими видами транспорта: возможность получения услуг «ночлег и питание», безопасность перевозки, относительно низкие тарифы [6, 7].

Основную роль для развития туристских перевозок на железных дорогах играют следующие факторы:

- наличие существующей инфраструктуры железнодорожных путей, которая реконструируется и соответствует установленным нормам безопасности, скорости движения, комфорта передвижения;
- развитая туристская инфраструктура вокруг железной дороги;
- красивая природа, места для активного, спокойного отдыха, термальные воды для лечебного туризма, курорта, местные национальные особенности, заповедники;
- спрос на данные виды железнодорожных услуг со стороны отечественных и иностранных туристов;
- современный комфортабельный подвижной состав для различных видов туристских услуг в зависимости от периода путешествия;
- проведение эффективной рекламной кампании по привлечению туристов к железнодорожным перевозкам;
- высокий уровень туристского обслуживания во время путешествия на поезде, размещение в гостиницах и апартаментах, питание в ресторанах и кафе, трансферное и экскурсионное обслуживание;
- привлекательность туристских маршрутов, позволяющих привлечь максимальное количество клиентов;
- ценовая и тарифная политика туристских компаний.

Выбор туристских перевозок должен быть обоснован методическим подходом, основанным на принципе определения фактического количества пассажиров, доходов от перевозок на определенных маршрутах и экономических расчетах.

Значимость железнодорожного транспорта обусловлена следующими факторами: во-первых, с исторической точки зрения железные дороги формировали и представляли

собой важнейшие социальные, торгово-экономические и промышленные связи; во-вторых, железнодорожный транспорт является более безопасным, надежным, удобным и комфортным по сравнению с другими видами транспорта. Сочетание этих двух составляющих позволяет рассматривать проблемы развития и эффективного использования железнодорожной инфраструктуры как основу роста туристского потенциала регионов [8, 9].

Разработку моделей планирования туристских маршрутов необходимо осуществлять с учетом уже сформированной сети железных дорог. Обоснование применения моделей включает следующие процедуры: определение заинтересованных сторон в реализации проекта и установление их взаимодействия на различных этапах реализации проекта; формирование туристских маршрутов с учетом факторов привлекательности; выбор последовательности внедрения маршрута для максимизации прибыли [10-14].

В случае многоэтапного планирования моделей железнодорожные туристские маршруты рассматриваются как заданные. Рассмотрим возможные варианты решений в зависимости от типа исходной информации. Приняты условные варианты туристских маршрутов (ТМ) на железнодорожном участке, которые отличаются длительностью и комфортностью, обозначенные буквой N :

N_1 – один туристский маршрут;

N_2 – один туристский маршрут, но с учетом рисков;

N_3 – совокупность туристских маршрутов, которые удовлетворяют ограничениям на доступные ресурсы;

N_4 – совокупность туристских маршрутов, которые удовлетворяют ограничениям на доступные ресурсы с учетом рисков;

N_5 – совокупность туристских маршрутов, обеспечивающих максимальную прибыль при объединении.

Задача оптимального планирования – определить такие значения переменных, которые удовлетворяют ограничениям модели и обеспечивают максимальную прибыль. Для всех вариантов следует определить описание отдельных маршрутов, каждый из которых представлен в моделях отдельной бинарной переменной. Рассмотрим формирование структур и компонентов модели при планировании по вариантам $N_1 – N_5$ с учетом условий риска. Для этого определяется модель

для варианта планирования N_1 . На ее основе в дальнейшем формируются другие для вариантов $N_2 - N_5$. В условиях существования определенных вариантов туристских маршрутов M_i , $i \in MI$ любая реализация оптимальных планов заключается в вычислении чисел или индексов некоторого подмножества маршрутов MI . Обозначим двоичные переменные, соответствующие некоторому маршруту с $x_i \in \{0,1\}$, ($i = \overline{1, m}$), где m – общее количество туристских маршрутов, а значение $x_i = 1$ означает решение о включении маршрута в оптимальный план. Общий вектор решения задач планирования имеет вид:

$$\bar{X} = (x_1, x_2, \dots, x_m) \quad (1)$$

Для организации связи железнодорожной сети и реализации возможности обслуживания туристских маршрутов одним и тем же подвижным составом вводится матрица связности:

$$CX = [c_{ij}]m \times m, \quad (2)$$

где $c_{ij} = 1$ – железнодорожные маршруты связаны, в противном случае $c_{ij} = 0$.

Для всех ТМ варианты организации туристских железнодорожных перевозок формируются отдельно. По каждому маршруту рассматриваются различные варианты организации перевозок z_i , которые различаются по времени в пути и уровню комфорта. Обозначим:

$$z_{ik} \in Z_i, i \in MI \quad (3)$$

На следующем этапе аналогично обозначим расчеты стоимости открытия различных вариантов туристского обслуживания:

$$s_{ik} \in S_i, i \in MI \quad (4)$$

Матрицы z_i и S_i определяют в модели деятельность туроператоров на маршруте M_i , $i \in MI$. Чтобы сформировать общую модель туристской деятельности, необходимо ввести целевую функцию. Оптимальной задачей планирования будет:

$$\{W(\bar{X}) = R_i(\bar{X})\} \rightarrow \max_{X \in G_x}, \quad (5)$$

где G_x – область допуска параметров планов, определенных на базе \bar{X} , $R_i(\bar{X})$ – соответствует показателю оптимальности варианта N_1 , $W(\bar{X})$ – соответствует любой другой модели оптимального планирования.

Набор ограничений G_x при организации туристских железнодорожных перевозок состоит из следующих компонентов:

$$G_k(\bar{X}) \leq 0, k \in \{T, V, C, t, I, P\}, \quad (6)$$

$$x_i \in \{0,1\}, (i = \overline{1, m}); N_x = 2^m, \quad (7)$$

где $G_T(\bar{X})$ – наличие тягового подвижного состава; $G_V(\bar{X})$ – наличие пассажирского подвижного состава; $G_C(\bar{X})$ – связность маршрутов; $G_t(\bar{X})$ – ограничения по времени поездки; $G_I(\bar{X})$ – наличие инфраструктуры; $G_P(\bar{X})$ – инвестиционные ограничения.

Инвестиционная экономико-математическая модель оптимального планирования железнодорожного туризма определяется как выбор одного маршрута из множества M_i , $i \in MI$, а лучшие по показателям чистой приведенной стоимости устанавливаются соотношениями (1) – (7). Уравнение (7) указывает на количество возможных вариантов, среди которых выбирается оптимальный по критерию (5). Благодаря подбору переменных (1) модель многоэтапного планирования туристской деятельности является вариантом дискретного математического программирования, учитывая (7) она может быть реализована методом перебора. При этом необходимо учитывать условия, при которых определяются и упорядочиваются группы маршрутов, а также наличия инвестиций. Для формирования алгоритма численной реализации (1), (5)–(7) структура конкретного маршрута может быть представлена в следующем виде:

$$St_i[M_i, R_{w_i}, l_i, T_i, SP_i(t), Z_i, S_i, RTur_i], \quad (8)$$

где M_i – идентификатор туристского маршрута; R_{w_i} – список железнодорожных узлов, принадлежащих конкретному туристскому маршруту; l_i – длина маршрута; T_i – время в пути по маршруту; $SP_i(t)$ – сумма затрат на открытие туристского маршрута за период t ; Z_i – варианты реализации согласно выражению (3); S_i – сметные затраты на варианты туристского обслуживания в соответствии с выражением (4); $RTur_i$ – ожидаемое количество туристов на конкретном маршруте.

Алгоритм реализации модели следующий:

1. Установка начальных значений переменных и оценка целевой функции:

$$\bar{X}(0) = (x_1 = 0, x_2 = 0, \dots, x_m = 0);$$

$$R_{1*}(\bar{X}) = R_{1min}; \bar{X}_{opt} = \bar{X}(0).$$

2. Определение начального значения счетчика вариантов $CN_x = 0$. Двоичное представление числа CN_x демонстрирует вариант реализации плана туристской деятельности $x_i \in \{0,1\}$, ($i = \overline{1, m}$).

3. Завершение процедуры оптимизации. В случае если CN_x+1 больше, чем $N_x=2^m$, переход к шагу 9.

4. Формирование текущего вектора вариантов деятельности $\bar{X}(CN)$, в котором значение $x_i=1$ указывает на включение маршрута в план.

5. Установление для каждого $x_i=1$ счетчика количества вариантов для реализации z_{ik} с матрицами $z_{ik} \in Z_i$.

6. Расчет показателей модели (5) – (7).

7. Проверка системы ограничений (6). Если условия не выполнены, то возврат к шагу 3.

8. Выполнение сравнения предварительного значения целевой функции $R_{I*}(\bar{X})$ с текущим $R_I(\bar{X})$. В случае $R_{I*}(\bar{X}) \leq R_I(\bar{X})$ замена $R_{I*}(\bar{X})$ на $R_I(\bar{X})$ и присвоение $\bar{X}_{opt} = \bar{X}$. Переход к шагу 3.

9. Получение результатов оптимального планирования $\{\bar{X}_{opt}; R_{I*}(\bar{X}_{opt})\}$.

Выбор группы оптимальных туристских маршрутов по условиям рисков может быть реализован, если система ограничений выполняется одновременно для всех выбранных маршрутов. Такое решение возможно при обеспечении связности маршрутов, достаточности единиц подвижного состава, готовности инфраструктуры. Основными формами критериев в детерминированном случае N_3 являются:

$$\{W(\bar{X}) = \sum_k R_k, (\bar{X})\} \rightarrow \max_{X \in G_x}, \quad (9)$$

при условии риска N_4 :

$$\{W(\bar{X}) = \sum_k R_k, (\bar{X}) + M[f_{kn}(\bar{X}, Y(\bar{X}, \theta), \theta)]\} \rightarrow \max_{X \in G_x}, \quad (10)$$

где k – номера маршрутов, которые в совокупности входят в группу оптимальных; $\theta = \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_s$ – наборы случайных состояний, определяющих некий прогнозируемый сценарий реализации отказа (изменение пути, закупка единиц подвижного состава, отсутствие своевременной инвестиционной поддержки).

Модели взаимодействия маршрутов для обеспечения максимальной рентабельности при их объединении различаются определением частоты осуществления рейсов на каждом маршруте, вошедшем в оптимальную группу. В них, в отличие от выражений (9) – (10), рассчитывается частота осуществления рейсов, при которых обеспечивается максимальная рентабельность. Реализация этих требований может быть представлена критериями

эффективности следующих задач оптимального планирования:

$$\{W(\bar{X}) = \sum_k v(\theta_k) R_k, (\bar{X})\} \rightarrow \max_{X \in G_x};$$

$$\sum_i v(\theta_i) = 1 \quad (11)$$

$$\{W(\bar{X}) = \sum_k v_k(R_k(\bar{X})) + M[f_{kn}(\bar{X}, Y(\bar{X}, \theta), \theta)]\} \rightarrow \max_{X \in G_x} \quad (12)$$

Условие стандартизации $\sum_i v(\theta_i) = 1$ используется для вариантов маршрутов из выражения (1), вошедших в оптимальный план \bar{X}_{opt} . Целевая функция, определяющая чистую приведенную стоимость (NPV), выглядит следующим образом:

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{\sum(L_t - B_t) \left(1 - \frac{\gamma}{100}\right) + A_t \frac{\gamma}{100} - K_t}{(1 + E_m)^t} + R \rightarrow \max, \quad (13)$$

где L_t – годовой доход; B_t – годовые затраты; γ – подоходный налог; A_t – амортизационные отчисления; K_t – ежегодные инвестиции; t – номер целевого года, $t=0, 1, 2, \dots, T$; R – реверсия; E_m – реальная ставка дисконтирования.

При формировании алгоритма реализации модели дискретной оптимизации [12] предполагается следующее: соблюдение принципа независимости показателей на отдельных туристских маршрутах, что позволяет строить аддитивные расчетные модели; выполнение требований по связности маршрутов на всем железнодорожном полигоне.

Введение каждого железнодорожного маршрута будет рассматриваться как проект $Pr_i(t)$. Для установления оптимального приоритета туристских маршрутов формируется матрица экономической целесообразности производственной деятельности:

$$E(Pr_t) = |e(i, t)|, \quad (14)$$

где элементы $e(i, t)$ определяют эффективность проектов по формуле (8) применительно к маршрутам M_i , если они начинаются в периоде t .

Следует отметить, что в выражении (14) все элементы $e(i, t)$ рассчитываются исходя из количества вариантов реализации z_{ik} по матрицам $z_i, z_{ik} \in Z_i$. То есть сохраняются лучшие оценки характеристик при поэтапном внедрении туристских маршрутов в план. Согласно принципу независимости маршрутов матрицу можно упорядочить, уменьшив показатель эффективности $e(i, t)$.

Матрица эффективности применяется для формирования оптимальных вариантов реализации многоэтапной инвестиционной модели планирования развития железнодорожного туризма [10].

Туризм тесно связан с использованием исторического и природного наследия, изучением традиций и культуры разных регионов и поэтому является действенным инструментом для координации экономического роста и устойчивого развития. Решение этой проблемы требует тщательного изучения существующих возможностей и потенциала развития железнодорожного транспорта, определения областей его использования при организации туристских маршрутов [9].

Для более эффективного планирования маршрутов туристского назначения предложена система организационно-функционального обеспечения развития железнодорожного транспорта и разработаны много-

этапные экономико-математические модели. Они позволят учитывать риски при планировании маршрутов, оценивать их рентабельность.

В статье представлены экономико-математические модели многоэтапного планирования оптимального развития сферы железнодорожного туризма на любом полигоне, вблизи которого уже имеется развитая транспортная инфраструктура или возможность ее строительства. При этом на основе двухэтапных моделей дискретного математического программирования с учетом возможных рисков могут быть определены оптимальные (по критерию чистой приведенной стоимости) железнодорожные туристские маршруты. Система ограничений моделей учитывает требования к подвижному составу; количеству туристов, поездок; объему инвестиций по этапам реализации проекта, отдельным категориям маршрутов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лебедева, О. А.** Транспортная инфраструктура как основополагающий фактор эффективного функционирования экономики страны / О.А. Лебедева, Ю.О. Полтавская, З.Н. Гаммаева, Т.В. Кондратенко. – Текст: непосредственный // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2018. Т. 1. № 15. С. 125-130.
2. **Антонов, Д. В.** Основные принципы развития транспортных систем городов / Д.В. Антонов, О.А. Лебедева. – Текст: непосредственный // Вестник Ангарской государственной технической академии. 2014. № 8. С. 149-155.
3. **Крипак, М. Н.** Применение прогрессивных технологий перевозок пассажиров для решения социально-экономических проблем / М.Н. Крипак, М.В. Дружинина, А.С. Домнина. – Текст: непосредственный // Экономика и бизнес: теория и практика. 2021. № 3-2 (73). С. 6-11.
4. **Левашев, А. Г.** К вопросу об оценке качества транспортного обслуживания в городах / А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов, М.И. Шаров. – Текст: непосредственный // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2013. Т. 3. № 1. С. 16-23.
5. **Михайлов, А.Ю.** Влияние урбанизации на социально-экономические аспекты транспортной и туристической отраслей региона / А.Ю. Михайлов, Е.Л. Попова, И.Л. Гайворонский. – Текст: непосредственный // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. № 10 (141). С. 203-211.
6. **Федоров, В. А.** Современное состояние туристской транспортной системы и перспективы ее развития на базе интеграционных транспортных моделей / В.А. Федоров. – Текст: непосредственный // Современные технологии управления. 2013. № 10 (34). С. 26-44.
7. **Копылова, Т. А.** Предложения по оценке уровня обслуживания в интермодальном узле городского пассажирского транспорта / Т.А. Копылова, А.Ю. Михайлов. – Текст: непосредственный // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. Т. 7. № 2 (21). С. 150-154.
8. **Афанасьева, А. В.** Железнодорожные туристские тропы как новый формат организации досуга и путешествий / А.В. Афанасьева. – Текст: непосредственный // Сервис в России и за рубежом. 2020. Т. 14. № 2 (89). С. 6-23.
9. **Колупаев, А. А.** Сущность и содержание понятия «транспортная инфраструктура туризма» / А.А. Колупаев, В.А. Наумик. – Текст: непосредственный // В сборнике: Актуальные проблемы развития туристской

инфраструктуры. Материалы международной научной конференции. 2018. С. 89-97.

10. **Severino, A.** Routes planning models for railway transport systems in relation to passengers' demand / A. Severino, L. Martseniuk, S. Curto, L. Neduzha // Sustainability. 2021. Vol. 13, 8686. 27 p.

11. **Utsunomiya, K.** The value of local railways: An approach using the contingent valuation method / K. Utsunomiya // Research in Transportation Economics. 2018. Vol. 69. pp. 554–559.

12. **Лебедева, О. А.** Выбор маршрута передвижения в системе метрополитена / О.А. Лебедева, Ю.О. Полтавская, В.Е. Гоз-

бенко. – Текст: непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018. № 3 (59). С. 76-82.

13. **Лебедева, О. А.** Динамическое моделирование оптимального маршрута в мультимодальной транспортной сети / О.А. Лебедева. – Текст: непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2020. № 1 (65). С. 44-50.

14. **Wang, R.** Modeling and optimization of a road-rail intermodal transport system under uncertain information / R. Wang, K. Yang, L. Yang, Z. Gao // Engineering application artificial intelligence. 2018. Vol. 72. pp. 423–436.

УДК 656.02, 519.852.33

*к.т.н., доцент, доцент кафедры «Управление на автомобильном транспорте»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: juliapoltavskaya@mail.ru*

*Ермолина Владислава Сергеевна,
обучающаяся группы ТП-20-1,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: vladislava.ermolina@bk.ru*

РЕШЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАДАЧ МЕТОДОМ РАНЖИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКИХ ДАННЫХ

Gantimurova Y.O. , Ermolina V.S.

SOLVING TRANSPORT PROBLEMS BY RANGING METHOD UNDER FUZZY DATA

Аннотация. В статье рассматривается применение метода ранжирования, посредством которого преобразуется транспортная задача с нечеткими данными и предлагается алгоритм нахождения оптимального решения. Приведенный численный пример демонстрирует, что предлагаемый метод является допустимым инструментом для решения транспортных задач на основе нечетких алгоритмов.

Ключевые слова: нечеткие данные, транспортная задача, метод ранжирования, оптимальное решение.

Abstract. The article discusses the use of the ranking method, through which a transport problem with fuzzy data is transformed into a highly significant one, and an algorithm is proposed for finding the optimal solution. The given numerical example demonstrates that the proposed method is a valid tool for solving transport problems based on fuzzy algorithms.

Keywords: fuzzy data, transport problem, ranking method, optimal solution.

Нечеткие множества играют важную роль в задачах принятия решений и анализа данных. Определение ранжирования нечетких чисел является неизбежным шагом во многих математических моделях [1]. Транспортная задача является частным случаем задач прикладной математики линейного программирования, которая позволяет определить оптимальную схему распределения потоков между грузообразующими и грузопоглащающими пунктами. Решение задачи по-

зволяет определить общее количество груза, которое будет перевезено от грузоотправителя в определенный пункт назначения. В результате получается оптимальное решение, которое включает в себя минимальные временные затраты и максимальную полученную прибыль [2-4]. Задача нечеткой транспортировки является прогрессивным методом в том понимании, что данные о расходах на транспортировку, значение спроса и предложения могут быть заданы в виде нечетких