

УДК 656.27

Логистический подход к стратегическому планированию эксплуатации малоинтенсивных железнодорожных линий

К. Е. Ковалев, А. В. Новичихин, А. П. Бадецкий

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Ковалев К. Е., Новичихин А. В. Бадецкий А. П. Логистический подход к стратегическому планированию эксплуатации малоинтенсивных железнодорожных линий // Бюллетень результатов научных исследований. — 2023. — Вып. 4. — С. 90-102. DOI: 10.20295/2223-9987-2023-4-90-102

Аннотация

Цель: Разработать логистический подход стратегического планирования эксплуатации малоинтенсивных железнодорожных линий, основанный на усовершенствованной концепции SPACE-анализа. **Методы:** Применены методы теории управления, SPACE-анализа и нечеткого когнитивного моделирования. **Результаты:** Предложен новый подход стратегического планирования логистических процессов на малоинтенсивных железнодорожных линиях, основанный на использовании усовершенствованного SPACE-анализа, в части использования нечетких когнитивных карт для оценки значений параметров. Рассмотрены возможные сценарии функционирования малоинтенсивных линий на основе концепции SPACE-анализа. **Практическая значимость:** Предлагаемый логистический подход к стратегическому планированию логистических процессов работы малоинтенсивных линий позволит эффективно осуществлять распределение технических и технологических ресурсов с учетом требований потребителей транспортных услуг.

Ключевые слова: Малоинтенсивные железнодорожные линии, планирование работы, SPACE-анализ, организационно-технологические решения, нечеткие когнитивные карты.

Введение

Низкая эффективность функционирования малоинтенсивных железнодорожных линий (далее — МИЛ) вызвана изменениями структуры транспортных потоков, снижением размеров перевозок, миграцией населения, изменением геополитических условий.

Общая протяженность МИЛ составляет около 18 % от общей протяженности железных дорог России [1], что обуславливает высокую значимость разработки мероприятий по повышению эффективности их функционирования.

Для повышения эффективности функционирования МИЛ необходима разработка логистических процессов, к которым относится доставка сырья или товаров от производителей к дистрибьютерам или конечным потребителям в случаях, когда автомобильные дороги не являются оптимальным вариантом доставки или требуется перевозка больших объемов груза. Также необходимо учитывать перемещение товаров между складами или распределительными центрами в международных логистических цепях поставок, обеспечивая транспортировку грузов между различными странами или регионами.

Для формирования перспективных логистических процессов требуется разработка стратегического плана деятельности МИЛ, позволяющего снизить неопределенности перевозочного процесса, исходя из имеющихся финансовых ресурсов, конкурентных условий, рисков и востребованности в современных условиях.

1. Анализ инструментария стратегического планирования

Для разработки стратегического плана МИЛ проведен анализ востребованных методов планирования (табл. 1), которые обеспечивают решения различных задач планирования. На основании проведенного анализа выбран наиболее подходящий метод для МИЛ в части инструментария и формирования набора критериев повышения эффективности функционирования работы участка.

На основании анализа рассмотренных инструментов стратегического планирования предлагается использование SPACE-анализа [2] для управления логистическими процессами на МИЛ, поскольку этот анализ позволяет учитывать влияние внутренних и внешних факторов, а также визуализировать полученные результаты применительно к железнодорожному транспорту. Представленные недостатки выбранного метода предлагается усовершенствовать в части определения весовых значений критериев с использованием когнитивного подхода и расширении перечня факторов, влияющих на функционирование МИЛ.

SPACE-анализ основан на использовании векторов средних значений факторов, к которым относятся финансовые ресурсы (FS) на организацию перевозочного процесса; конкурентная позиция железнодорожного транспорта с другими видами транспорта (CA); степень риска невыполнения плановых эксплуатационных показателей перевозочного процесса (ES); степень реализации транспортного потенциала МИЛ (IS) (рис. 1).

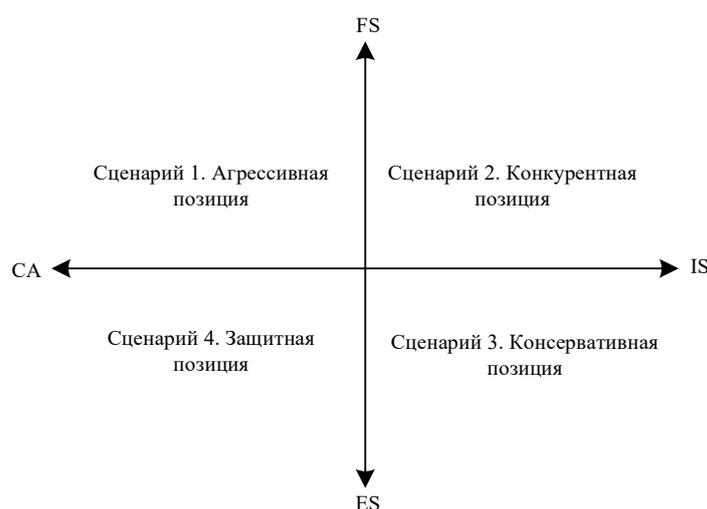


Рис. 1. Векторы критериев SPACE-анализа и возможные сценарии функционирования МИЛ

ТАБЛИЦА 1. Инструменты стратегического планирования

Название метода	Область применения	Достоинства	Недостатки	Возможные сферы применения на железнодорожном транспорте
Матрица BCG	Для анализа реализуемых продуктов	Позволяет оценить текущую прибыльность и потенциал роста продуктов. Помогает определить стратегические приоритеты и распределение ресурсов	Упрощенный подход, не учитывающий все аспекты стратегического анализа. Ориентирован на продукты, а не на саму организацию	Анализ реализуемых цифровых сервисов. Анализ показателей перевозочного процесса. Анализ экологичности перевозочного процесса
Анализ PESTEL	Анализ внешней конкурентной среды	Позволяет оценить влияние внешних факторов на организацию. Помогает выявить возможности и угрозы, которые могут повлиять на стратегические решения	Основывается на анализе внешних факторов, не учитывает внутренние характеристики организации. Не предоставляет конкретных рекомендаций по стратегическим действиям	Анализ конкуренции с другими видами транспорта. Анализ транспортного потенциала в международных транспортных коридорах
SWOT-анализ	Определение сильных и слабых сторон, а также возможности и угрозы внешней среды	Позволяет систематически оценить внутренние и внешние факторы организации. Помогает выработать стратегические альтернативы на основе анализа SWOT-матрицы	Зависит от представлений и оценок экспертов. Не предоставляет конкретных рекомендаций по выбору стратегических действий	Анализ результатов внедряемых инструментов цифровизации перевозочного процесса и развития инфраструктуры
SPACE-анализ	Используется для оценки позиции на рынке и определения стратегических действий	Учитывает факторы внутренней и внешней среды, а также проблемы и альтернативы. Оценка конкурентных преимуществ и уязвимых мест организации. Визуализация результатов в виде графической матрицы стратегических позиций организации и выделением ключевых аспектов для разработки стратегии	Упрощенная модель не учитывает все факторы, которые могут влиять на функционирование организации. Субъективность оценок экспертов при формировании факторов	Оценка стратегического плана деятельности железнодорожного участка

На основании выбранных факторов формируется шкала оценок для каждого вектора критериев, которая может быть числовой или качественной в зависимости от учитываемых условий на железнодорожном транспорте.

Выбор стратегии осуществляется путем анализа текущей позиции организации на SPACE-матрице и определения подходящей области, которая соответствует стратегическим целям и условиям функционирования МИЛ.

Возможны четыре альтернативные позиции функционирования МИЛ, на основании которых выбираются стратегии планирования:

Агрессивная позиция при наличии конкурентных преимуществ с другими видами транспорта — характерна для интенсивных железнодорожных линий со стабильными размерами перевозок.

Конкурентная позиция для железнодорожных направлений, где имеется борьба между видами транспорта и нестабильный грузопоток.

Консервативная позиция — характерна для железнодорожных линий со стабильным, медленно растущим грузопотоком.

Защитная позиция для МИЛ, на которых низкие размеры перевозок и ограниченность в финансовых ресурсах для развития.

2. SPACE-анализ функционирования МИЛ с использованием нечетких когнитивных карт

На финансовые ресурсы функционирования МИЛ (FS) влияют следующие факторы: ресурсы холдинга ОАО «РЖД»; частные инвесторы; федеральный бюджет; региональный бюджет; риски; инфраструктура; инвестиционная привлекательность; реализация стратегии развития; цифровизация; нормативная база.

На конкурентную позицию с другими видами транспорта (CA) влияют следующие факторы: доля на транспортном рынке; качество предоставляемых услуг; стадия жизненного цикла железнодорожной линии; предпочтения потребителей транспортных услуг.

На степень риска невыполнения плановых эксплуатационных показателей (ES) влияют факторы: реализуемые транспортные технологии; инфляция; изменения спроса на транспортные услуги; стоимость перевозки у конкурентных видов транспорта.

На степень реализации транспортного потенциала МИЛ (IS) влияют факторы: потенциальная прибыль; финансовая стабильность; использование ресурсов на функционирование МИЛ. При использовании SPACE-анализа критериям дается рейтинговая оценка и оценка каждого фактора.

В статье предлагается производить оценку факторов с использованием нечетких когнитивных карт [3–5], применяемых для моделирования и анализа сложных систем в виде графа, состоящего из концептов и связей между ними.

Нечеткие когнитивные карты позволяют использовать нечеткие значения для описания отношений между концепциями, что позволяет учитывать неопределенность и нечеткость в знаниях о системе [6–9]. Для примера приведена когнитивная карта финансового состояния МИЛ и расчет ее показателей. Выбрана трапециевидная функция принадлежности, используемая для задач, неопределенностей, которые характеризуются аналитическим выражением (1):

$$f_T(x; FS(t), CA(t), ES(t), IS(t)) = \begin{cases} 0, x \leq FS(t); \\ \frac{x - FS(t)}{CA(t) - FS(t)}; FS(t) \leq x \leq CA(t); \\ 1; CA(t) \leq x \leq ES(t); \\ \frac{IS(t) - x}{IS(t) - EA(t)}; ES(t) \leq x \leq IS(t); \\ 0; IS(t) \leq x, \end{cases} \quad (1)$$

где FS — финансовый ресурсы МИЛ на организацию перевозочного процесса;
 CA — конкурентная позиция МИЛ с другими видами транспорта на рассматриваемом направлении;
 ES — степень риска невыполнения плановых эксплуатационных показателей перевозочного процесса;
 IS — степень реализации транспортного потенциала МИЛ.
 FS, CA, ES, IS — числовые параметры, принимающие произвольные действительные значения и упорядоченные отношением $FS(t) \leq CA(t) \leq ES(t) \leq IS(t)$.
 Эта функция имеет нормальное выпуклое нечеткое множество.

Пример для МИЛ на участке А — Б, обладающей следующими исходными параметрами (табл. 2), определения величины фактора (FS) на основе шкалы оценок с использованием нечеткой когнитивной карты приведен на (рис. 2).

Для анализа устойчивости когнитивная карта «Финансовые ресурсы» составлена матрица смежности (2) и определены собственные значения матрицы A :

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0,1 & 0,3 & 0,1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,4 \\ 0 & 0 & 0,1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,4 & 0,8 \\ 0 & 0 & -0,7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,6 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0,6 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,2 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

ТАБЛИЦА 2. Параметры функционирования МИЛ на участке А — Б

Параметры	Значения
Длина, км	148
Система СЦБ	полуавтоматическая блокировка
Грузовых поездов	0,2
Пассажирских поездов	0,09
Пригородных поездов	1,8
Грузонапряженность, млн ткм брутто/км	0,3
Количество грузовых вагонов, ед/сут	8,7
Количество пассажиров, чел/сут	80,5
Количество рабочих по службе ДИ, чел.	55
Количество рабочих по службе Д, чел.	52
Количество рабочих по службе Т, чел.	32,3
Расходы по службе ДИ, млн руб/год	34,8
Расходы по службе Д, млн руб/год	22,3
Расходы по службе Т, млн руб/год	14,1
Выручка за грузовые перевозки, млн руб/год	106
Выручка за пассажирские перевозки, млн руб/год	1,2
Выручка за пригородные перевозки, млн руб/год	7,7
Финансовый результат млн руб/год	-4

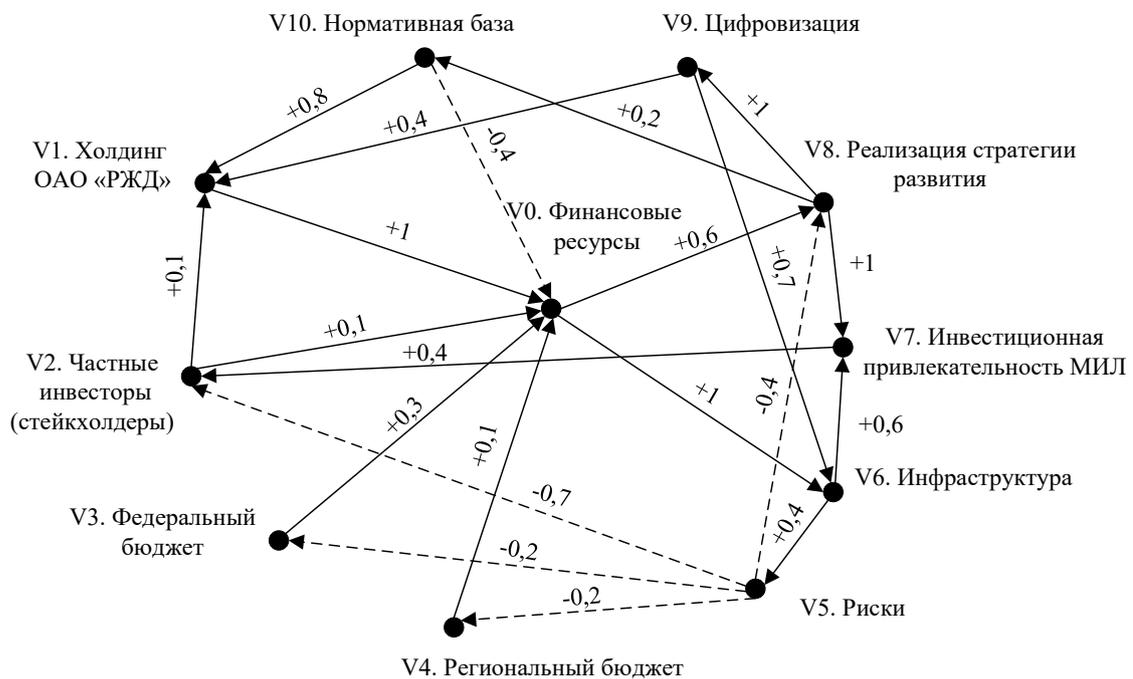


Рис. 2. Когнитивная карта (FS) «Финансовые ресурсы»

Собственные векторы матрицы A :

$$v = \begin{pmatrix} 0 \\ -0,3 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \text{ собственное значение } \lambda_1 = 0. \quad (3)$$

Определен набор показателей [3–5] нечеткой когнитивной карты «Финансовые ресурсы» (табл. 3). Перечисленный комплекс дополнен параметром значения фактора FS, который определяется по формуле:

$$FS = \frac{P_i^{\leftarrow}}{n}. \quad (4)$$

где n — количество концептов когнитивной карты;

P_i^{\leftarrow} — степень влияния системы на каждый концепт.

$$P_i^{\leftarrow} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{ij}. \quad (5)$$

$\sum_{j=1}^n d_{ij}$ — сумма по строке в матрице смежности нечеткой когнитивной карты.

Аналогично определены значения факторов IS , ES , CA . После определения значений факторов с использованием нечетких когнитивных карт выполнено графическое отображение стратегической позиции функционирования МИЛ (рис. 3).

На основе SPACE-анализа функционирования МИЛ с использованием нечетких когнитивных карт определена защитная позиция, которая характерна для направлений с низкими размерами грузопотока и пассажиропотока, в которых не хватает конкурентоспособных транспортных предложений и финансовых ресурсов на развитие и модернизацию. В данном случае рекомендуются следующие сценарии функционирования МИЛ: консервирование или демонтаж линии; прекращение перевозок низкодоходных грузов; агрессивное сокращение издержек; сокращение излишних производственных мощностей; отказ от инвестиций.

ТАБЛИЦА 3. Показатели когнитивной карты «Финансовые ресурсы»

Названия концептов	Положительное влияние системы на концепты	Отрицательное влияние системы на концепты	Положительное влияние концепта на систему	Отрицательное влияние концепта на систему	Степень влияния системы на концепт	Степень влияния концепта на систему
V0. Финансовые ресурсы	0,62	0,38	0,73	0,27	0,31	0,29
V1. Холдинг ОАО «РЖД»	0,65	0,35	0,71	0,29	0,37	0,19
V2. Частные инвесторы (стейкхолдеры)	0,68	0,32	0,25	0,75	0,04	-0,11
V3. Федеральный бюджет	0,65	0,35	0,77	0,23	0,11	-0,06
V4. Региональный бюджет	0,65	0,35	0,77	0,23	0,04	-0,06
V5. Риски	0,80	0,20	0,77	0,23	-0,28	0,19
V6. Инфраструктура	0,65	0,35	0,75	0,25	0,00	0,36
V7. Инвестиционная привлекательность МИЛ	0,76	0,24	0,60	0,40	0,06	0,31
V8. Реализация стратегии развития	0,71	0,29	0,59	0,41	0,40	0,17
V9. Цифровизация	0,68	0,32	0,62	0,38	0,18	0,24
V10. Нормативная база	0,35	0,65	0,62	0,38	0,35	0,05
Значение фактора FS						0,14

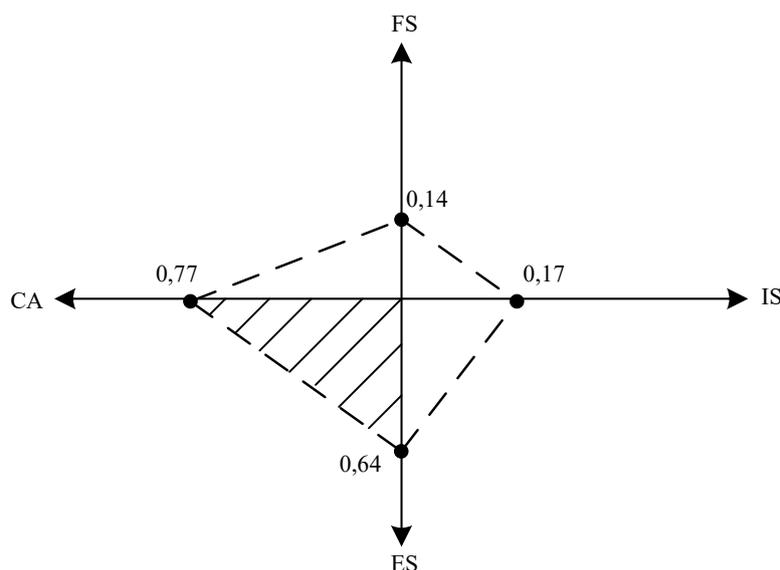


Рис. 3. Стратегическая позиция функционирования МИЛ

Недостатком SPACE-анализа является малое количество учитываемых факторов. Существующая концепция SPACE-анализа не учитывает факторы времени принятия решения о перевозке, тарифную стоимость, количество клиентов, использующих МИЛ, способ принятия решения о перевозке и виды предоставляемых транспортных услуг. В связи этим предлагается усовершенствовать SPACE-анализ в части набора векторов и классификации их по зонам получаемых результатов для снижения неопределенности стратегического планирования функционирования МИЛ.

3. Совершенствование SPACE-анализа для детализации структуры функционирования МИЛ

Усовершенствование SPACE-анализа состоит в расширении количества, зонировании и оценке параметров векторов для формирования сценариев функционирования с позиции клиента железнодорожного транспорта.

Предложены следующие векторы SPACE-анализа для грузовых перевозок: вид перевозки; тарифная стоимость перевозки; количество клиентов; время принятия решения о перевозке; вид предоставляемой транспортной услуги (рис. 4).

Каждый из векторов поделен на три зоны в зависимости от тенденций потребителей транспортных услуг. Зона 2 сформирована исходя из следующих положений:

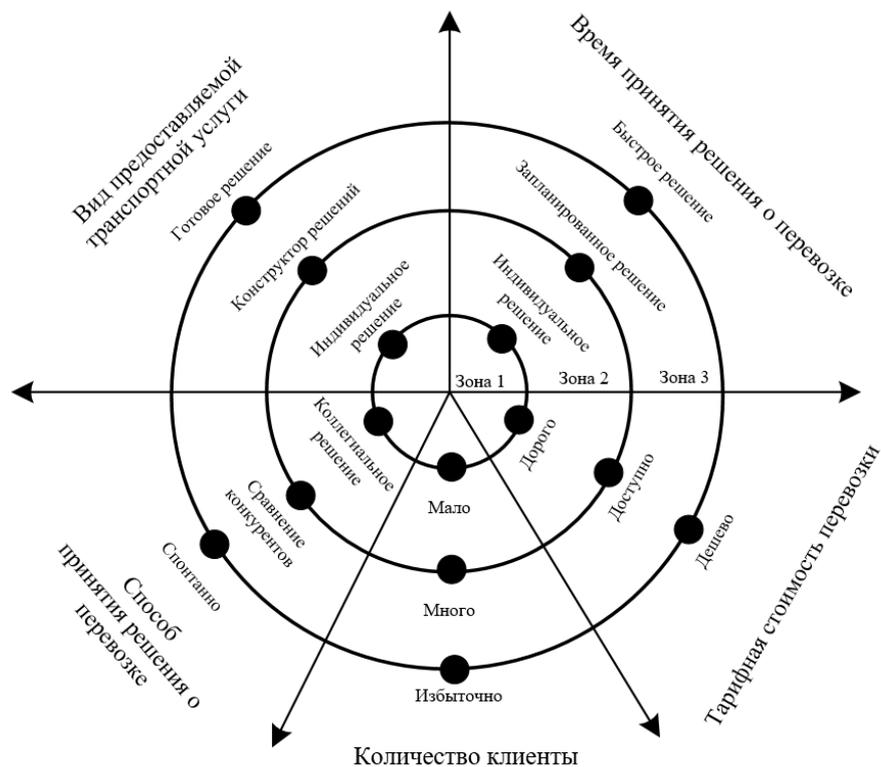


Рис. 4. Усовершенствованная концепция SPACE-анализа

Клиент принимает запланированное решение о перевозке.

Клиент проводит сравнительный анализ конкурентов, предоставляющих транспортные услуги с другими видами транспорта.

Клиент знает рыночную конъюнктуру и предварительную стоимость перевозки.

Стоимость перевозки удовлетворяет клиента.

Клиенту требуется получить дополнительные решения, по согласованию с ОАО «РЖД», дающие ему определенную выгоду.

Положения для формирования зон 1 и 3 приведены на рис. 4 и отображают возможные варианты принимаемых решений.

На основании усовершенствованной концепция SPACE-анализа функционирования МИЛ формализована оценка для грузовых перевозок (рис. 5). Основной проблемой функционирования МИЛ является малое количество клиентов, поэтому целесообразно осуществлять планирование деятельности МИЛ в зоне 1.

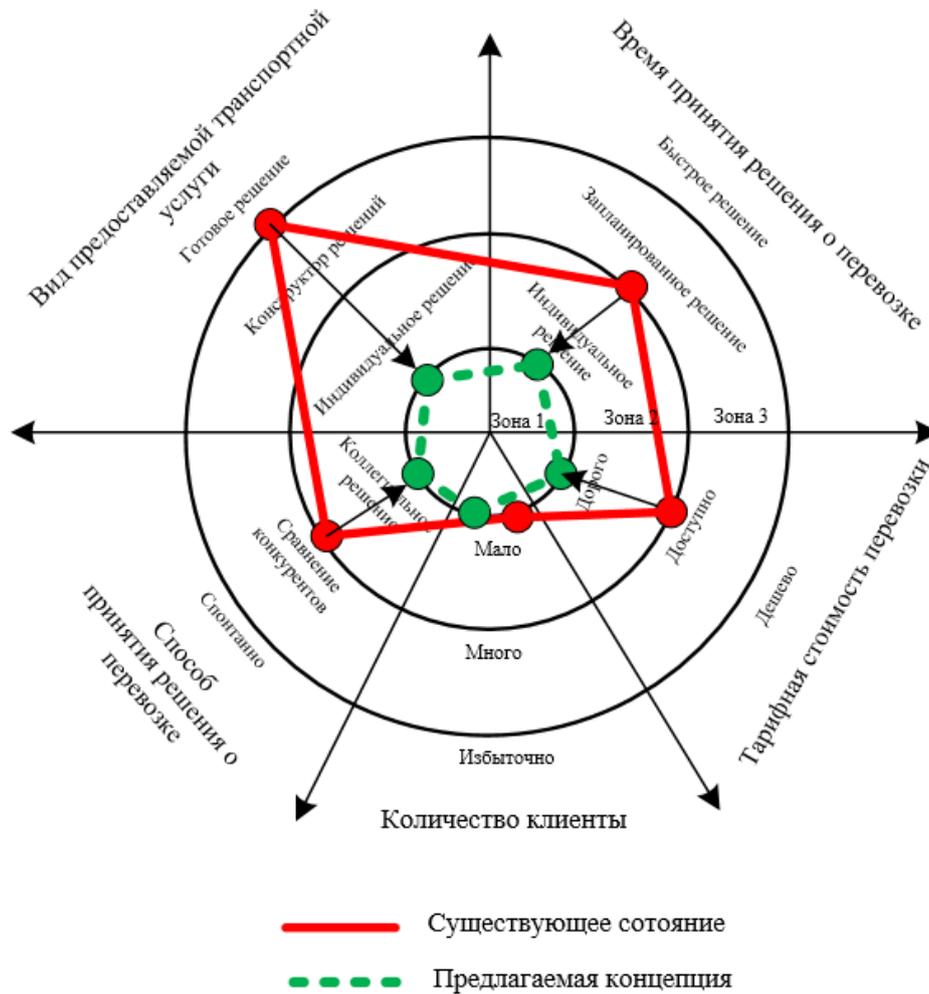


Рис. 5. Усовершенствованная концепция SPACE-анализа функционирования МИЛ для грузовых перевозок

Для этого необходимо разработать процедуру, позволяющую изменить время принятия решения о перевозке с запланированного к индивидуальному решению, что позволит формировать более выгодные тарифные предложения. При этом способ принятия решения о перевозке будет иметь вид коллегиального решения, а вид предоставляемой транспортной услуги будет реализован в виде конструктора индивидуальных решений, реализуемых на конкретной МИЛ.

Заключение

В статье предложен новый логистический подход к стратегическому планированию эксплуатации МИЛ, основанный на использовании усовершенствованной концепции SPACE-анализа. Проведен анализ современных инструментов стратегического планирования, и выбран SPACE-анализ для планирования работы МИЛ по причине возможности формирования различных сценариев функционирования.

На основе SPACE-анализа и нечетких когнитивных карт определена защитная стратегия функционирования МИЛ для железнодорожных направлений с низкими размерами грузопотока и пассажиропотока, на которых не хватает конкурентоспособных транспортных предложений и финансовых ресурсов на развитие и модернизацию. На основе усовершенствованной концепции SPACE-анализа предложен подход к стратегическому планированию эксплуатации малоинтенсивных железнодорожных линий, который учитывает основную проблему их функционирования — малое количество клиентов.

Для положительного финансового результата функционирования МИЛ необходима разработка механизмов по изменению способа принимаемого решения о перевозке и смещении его в зону коллегиального (долгосрочного), индивидуальных решений с высокой добавочной стоимостью конечного продукта в виде конструктора транспортных услуг на индивидуальную МИЛ.

Библиографический список

1. Вакуленко С. П. Эффективность эксплуатации и обслуживания малоинтенсивных железнодорожных линий: монография / С. П. Вакуленко, А. В. Колин, Н. Ю. Евреенова; под ред. С. П. Вакуленко. — М.: ВИНТИ РАН, 2018. — 218 с.
2. Дженстер П. Анализ сильных и слабых сторон компании: определение стратегических возможностей / П. Дженстер. — М.: Вильямс, 2003. — 368 с.
3. Силов В. Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке / В. Б. Силов. — М.: ИНПРО-РЕС, 1995. — 228 с.
4. Кульба В. В. Сценарный анализ динамики поведения социально-экономических систем / В. В. Кульба, Д. А. Кононов, С. С. Ковалевский и др. — М.: ИПУ РАН, 2002. — 122 с.
5. Горелова Г. В. О когнитивном моделировании развития ситуаций в регионе в условиях быстрых изменения среды и противодействия / Г. В. Горелова, Э. В. Мельник // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2011. — № 3(116). — С. 65–78.

6. Ковалев К. Е. Разработка механизмов повышения эффективности функционирования малоинтенсивных железнодорожных линий / К. Е. Ковалев, А. В. Новичихин, О. А. Медведь // Автоматика на транспорте. — 2022. — Т. 8. — № 2. — С. 150–161. — DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-2-150-161.

7. Ковалев К. Е. Комплексный синергетико-индикаторный подход к управлению процессами перевозок на интенсивных и малодеятельных линиях / К. Е. Ковалев, А. В. Новичихин // Автоматика на транспорте. — 2021. — Т. 7. — № 2. — С. 252–267. — DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-2-252-267.

8. Kovalev K. Interaction of Intensive and Low-Density Lines: Management Approach and Models / K. Kovalev, A. Novichikhin // Lecture Notes in Networks and Systems. — 2022. — Vol. 402. — Pp. 701–709. — DOI: 10.1007/978-3-030-96380-4_76.

9. Kovalev K. E. Ford-Fulkerson algorithm refinement for the cooperation effectiveness increase of intensive and low-density lines / K. E. Kovalev, A. V. Novichikhin // Intelligent Information Technology and Mathematical Modeling — 2021 (ИТММ-2021). Journal of Physics: Conference Series 2131. — 2021. — P. 032008. — DOI: 10.1088/1742-6596/2131/3/032008.

Дата поступления: 15.09.2023

Решение о публикации: 10.11.2023

Контактная информация:

КОВАЛЕВ Константин Евгеньевич — канд. техн. наук; kovalev@pgups.ru

НОВИЧИХИН Алексей Викторович — д-р техн. наук, доц.; novichihin@bk.ru

БАДЕЦКИЙ Александр Петрович — канд. техн. наук; badetskii@pgups.ru

A Logistics Approach to Strategic Planning for the Operation of Low-Intensity Railway lines

K. E. Kovalev, A. V. Novichikhin, A. P. Badetsky

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Kovalev K. E., Novichikhin A. V. Badetsky A. P. A Logistics Approach to Strategic Planning for the Operation of Low-Intensity Railway lines. *Bulletin of scientific research results*, 2023, iss. 4, pp. 90-102. (In Russian) DOI:10.20295/2223-9987-2023-4-90-102

Summary

Purpose: To develop a logistics approach to strategic planning for the operation of low-intensity railway lines, based on the improved concept of SPACE analysis. **Methods:** Methods of control theory, SPACE analysis and fuzzy cognitive modeling have been used. **Results:** A new approach to strategic planning of logistics processes on low-intensity railway lines is proposed based on the use of improved SPACE analysis, in terms of the use of fuzzy cognitive maps to estimate parameter values. Possible scenarios for the operation of low-intensity lines based on the concept of SPACE analysis are considered. **Practical significance:** The proposed logistics approach to the strategic planning of logistics processes for the operation of low-intensity lines will allow for the effective distribution of technical and technological resources, taking into account the requirements of consumers of transport services.

Keywords: Low-intensity railway lines, operation planning, SPACE analysis, organizational and technological solutions, fuzzy cognitive maps.

References

1. Vakulenko S. P., Kolin A. V., Evreenova N. Yu. et al.; ed. S. P. Vakulenko. *Effektivnost' ekspluatatsii i obsluzhivaniya malointensivnykh zheleznodorozhnykh liniy: monografiya* [Efficiency of operation and maintenance of low-intensity railway lines: monograph; Russian University of Transport (RUT (MIIT))]. Moscow: VINITI RAS Publ., 2018, 218 p. (In Russian)
2. Dzhenster P. *Analiz sil'nykh i slabykh storon kompanii: opredelenie strategicheskikh vozmozhnostey* [Analysis of the company's strengths and weaknesses: identifying strategic opportunities]. Moscow: Williams Publ., 2003, 368 p. (In Russian)
3. Silov V. B. *Prinyatie strategicheskikh resheniy v nechetkoy obstanovke* [Making strategic decisions in uncertain environments]. Moscow: INPRO-RES Publ., 1995, 228 p. (In Russian)
4. Kulba V. V., Kononov D. A., Kovalevsky S. S. et al. *Stsenarnyy analiz dinamiki povedeniya sotsial'no-ekonomicheskikh sistem* [Scenario analysis of the dynamics of behavior of socio-economic systems]. Moscow: IPU RAS Publ., 2002, 122 p. (In Russian)
5. Gorelova G. V., Melnik E. V. On cognitive modeling of the development of situations in the region in conditions of rapid environmental changes and counteraction. *News of the Southern Federal University. Technical science*, 2011, Iss. 3 (116), pp. 65–78.
6. Kovalev K. E., Novichikhin A. V., Medved O. A. O kognitivnom modelirovanii razvitiya situatsiy v regione v usloviyakh bystrykh izmeneniya sredy i protivodeystviya [Development of mechanisms for increasing the efficiency of functioning of low-intensity railway lines]. *Avtomatika na transporte* [Automation in transport]. 2022, vol. 8, Iss. 2, pp. 150–161. DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-2-150-161. (In Russian)
7. Kovalev K. E., Novichikhin A. V. Kompleksnyy sinergetiko-indikatornyy podkhod k upravleniyu protsessami perevozok na intensivnykh i malodeyatel'nykh liniyakh [Integrated synergetic-indicator approach to managing transportation processes on intensive and low-volume lines]. *Avtomatika na transporte* [Automation in transport]. 2021, vol. 7, Iss. 2, pp. 252–267. DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-2-252-267. (In Russian)
8. Kovalev K., Novichikhin A. Interaction of Intensive and Low-Density Lines: Management Approach and Models. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2022, vol. 402, pp. 701–709. DOI: 10.1007/978-3-030-96380-4_76.
9. Kovalev K. E., Novichikhin A. V. Ford-Fulkerson algorithm refinement for the cooperation effectiveness increase of intensive and low-density lines. *Intelligent Information Technology and Mathematical Modeling — 2021 (IITMM-2021)*. *Journal of Physics: Conference Series* 2131, 2021, p. 032008. DOI: 10.1088/1742-6596/2131/3/032008.

Received: September 15, 2023

Accepted: November 10, 2023

Author's information:

Konstantin E. KOVALEV — PhD in Engineering; kovalev@pgups.ru

Alexey V. NOVICHIKHIN — Dr. Sci. in Engineering, Associate Professor; novichihin@bk.ru

Alexander P. BADETSKY — PhD in Engineering; badetskii@pgups.ru