

К. Е. Ковалев, А. В. Новичихин

ФОРМИРОВАНИЕ СЦЕНАРИЕВ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ МАЛОИНТЕНСИВНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЛИНИЙ ПО НАБОРУ ПАРАМЕТРОВ

Аннотация. Специализация железнодорожных линий в современных условиях имеет сложную структуру, учитывающую различные показатели. В статье предложена система управления параметрами железнодорожных линий с использованием групп исходных, технологических, инфраструктурных и экономических показателей, на основе которых реализуется моделирование сценариев для функционирования малоинтенсивных железнодорожных линий. Система управления параметрами железнодорожных линий основана на использовании нечеткой логики по набору правил взаимного влияния различных показателей друг на друга.

Предлагаемая система параметров железнодорожной линии позволяет определять нечеткие веса показателей для формирования комплексного интегрального индекса, который дает возможность наиболее полно характеризовать работу железнодорожных линий различной специализации.

Разработаны сценарии функционирования малоинтенсивных железнодорожных линий для дальнейшего формирования управляющих воздействий, направленных на повышение эффективности работы железнодорожной транспортной сети.

Результаты исследования могут быть применены при разработке сценариев развития железнодорожной транспортной сети, а также при формировании комплексных программ развития транспортной системы с учетом особенностей рассматриваемых групп показателей.

Ключевые слова: малоинтенсивные железнодорожные линии, сценарное моделирование, показатели работы железнодорожной линии, наличная пропускная способность, железнодорожный транспорт, нечеткая логика, метод главных компонент.

Для цитирования: Ковалев, К. Е. Формирование сценариев организации работы малоинтенсивных железнодорожных линий по набору параметров / К. Е. Ковалев, А. В. Новичихин // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 4. – С. 90–99. – DOI 10.46973/0201-727X_2024_4_90.

Введение

Железнодорожная транспортная сеть представляет собой совокупность железнодорожных линий, станций, узлов, технических средств и организационных структур, обеспечивающих перевозку пассажиров и грузов [1–3]. Железнодорожные линии имеют специализацию и классификацию по набору различных показателей. Каждая специализированная линия определяется по набору показателей. Специализация линий включает в себя: высокоскоростные (*V*); скоростные (*C*); с преимущественно пассажирским движением (*O*); с преимущественно грузовым движением (*G*); особо грузонапряженные (*P*); с тяжеловесным грузовым движением (*T*); малоинтенсивные (*M*).

Сложность исследования и управления железнодорожными линиями различной специализации состоит в многочисленности и многообразии их параметров, свойств и характеристик [4–6]. Отсутствует система их параметров и показателей оценки по набору ресурсных, инфраструктурных, технологических, экономических и эксплуатационных показателей, что затрудняет принятие решений по управлению и перераспределению потоков в железнодорожной транспортной сети и оценку эффективности такого управления. Вследствие этого появляются затруднения в продвижении грузопотоков в адрес морских торговых портов, отставленных от движения поездов, избыточного подвижного состава и функционировании убыточных малоинтенсивных железнодорожных линий. В качестве критериев оценки работы железнодорожной линии предлагается использовать набор показателей на основе технического нормирования [7], которое позволяет выполнять сравнение плановых и фактических показателей. Однако расчетные значения показателей в большом массиве данных не дают формирования целостной картины для выработки управляющих воздействий на работу железнодорожной линии. Предлагается производить оценку работы линии по выделенному набору показателей, которые более полно дают представление о работе линии (рис. 1).

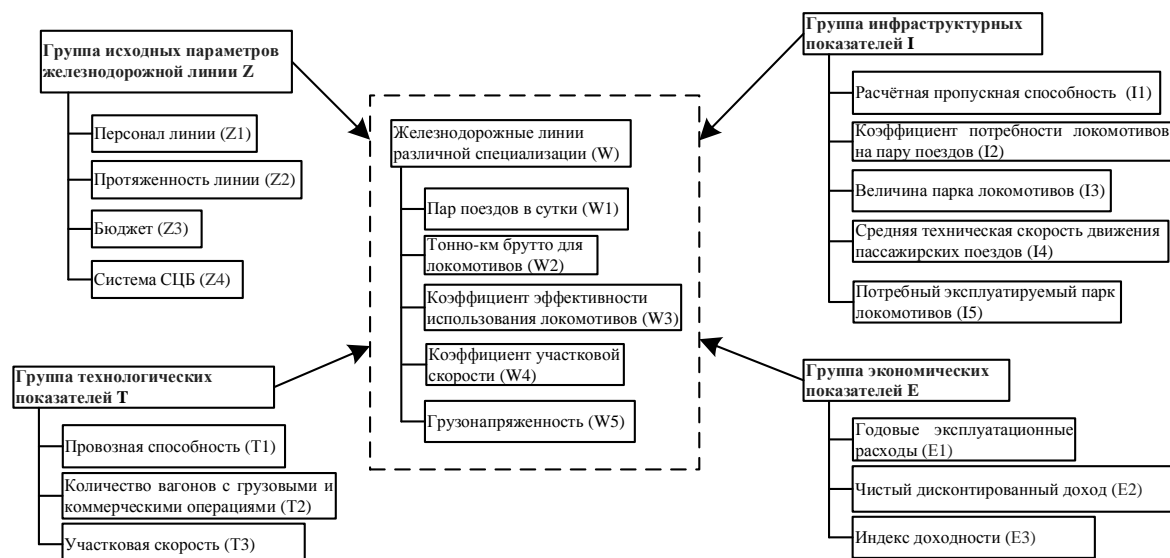


Рис. 1. Система параметров работы железнодорожной линии

Таким образом, математическая постановка задачи формирования системы оценки комплексного показателя работы железнодорожной линии имеет следующий вид. Пусть имеется железнодорожная транспортная сеть L , состоящая из железнодорожных линий $l \in L$ различной специализации $s(l) \in S = \{V, C, O, G, P, T, M\}$, где V – высокоскоростная железнодорожная линия; C – скоростная железнодорожная линия; O – линия с преимущественно пассажирским движением; G – железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением; P – особо грузонапряженная железнодорожная линия; T – железнодорожная линия с тяжеловесным грузовым движением; M – малоинтенсивная линия [8–10].

Каждая линия характеризуется группой показателей $G = \{Z, I, T, E, W\}$, где Z – группа исходных параметров железнодорожной линии; T – группа технологических показателей; I – группа инфраструктурных показателей; E – группа экономических показателей; W – группа выходных параметров, характеризующих специализацию линии. Для каждой группы показателей задан набор частных индикаторов.

Требуется разработать систему для прогнозирования изменения значений технических, технологических и экономических показателей при различных сценариях работы железнодорожной линии для формирования управляющих воздействий лицом, принимающим решения. Задача является сложно структурированной, показатели имеют различную размерность, поэтому для ее решения предлагается использовать нечеткую логику [11–15] и структурировать на следующие этапы:

1 Сбор статистических данных показателей за отчетный период с использованием существующих информационных систем.

2 Нормализация данных для линии l , которая имеет набор показателей $x_{l,g,k} \in R, g \in G, k \in K_g$, где l – железнодорожная линия; $g \in G$ – группа показателей; $k \in K_g$ – показатель внутри группы; $x_{l,g,k} \in R$ – числовое значение показателя. В качестве функции принадлежности предлагается использование треугольной функции, лингвистические переменные и треугольные нечеткие числа для оценки показателей работы железнодорожной линии. При этом функции принадлежности не фиксированы, а заданы нечетко треугольными интервалами, которые характеризуются тремя параметрами минимального, среднего и максимального значения показателя, что эффективно использовать при большом количестве переменных и наличии взаимного влияния переменных друг на друга. Показатели средней технической скорости грузовых поездов с нормировкой в диапазоне $[0,1]$ имеют следующие диапазоны (табл. 1).

Таблица 1

Набор показателей работы железнодорожной линии

Диапазоны	Шкала нечетких чисел
Низкий уровень (Low)	(0,0; 0,0; 0,4)
Средний уровень (Med)	(0,3; 0,5; 0,7)
Высокий уровень (High)	(0,6; 1,0; 1,0)

График функций принадлежности для рассматриваемых диапазонов по индикатору средней технической скорости грузовых поездов имеет вид, представленный на рис. 2.

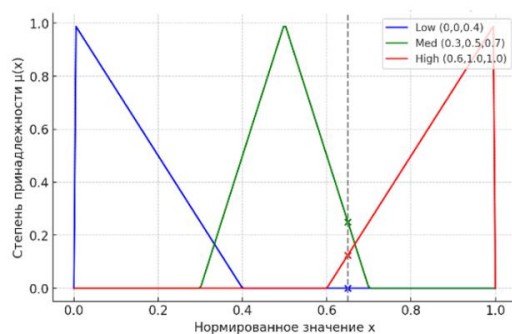


Рис. 2. Функция принадлежности для показателя $I4$

Вертикальная линия показывает точку $x = 0,65$, которая частично принадлежит к среднему (0,25) и высокому уровню (0,125). Показатель скорости не является средним или высоким, а находится между этими значениями. Нечёткая логика позволяет нормализовать такие показатели путем частичной принадлежности разным категориям одновременно. Для дальнейших расчетов используются обе принадлежности при учете влияния взаимосвязей с другими показателями по набору правил, представленных в виде табл. 2.

Таблица 2

Набор правил нечеткой логики

Группа показателей	Условие	Результат
$Z \rightarrow I$	$Z1, Z3$ – соответствует нормативному значению	$I1$ – на достаточном уровне
	$Z1, Z3$ – ниже нормативного значения	$I1, I2$ – пропускная способность и коэффициент использования устройств низкие
	$Z4$ – современная	$T3$ – высокая
	$Z4$ – устаревшая	$T3$ – низкая
$I \rightarrow T$	$W1, W3$ – низкие	$T1$ – высокая
	$I3, I4$ – высокие	$T3$ – высокая
	$I5$ – в норме	$T1$ – высокий
$T \rightarrow E$	$T1, T1$ – высокие	$E2, E3$ – положительные
	$T1, T3$ – низкие	$E2, E3$ – отрицательный
$E \rightarrow W$	$E2, E3$ – низкие	$W4, W5$ низкий
	$W1, W5$ – низкие	$E3$ – низкий

Разработанные правила подтверждают, что при нормальном оснащении инфраструктуры скорость движения поездов и пропускная способность высокие, что повышает провозную способность и экономические показатели линии. Недостаток бюджета и персонала линии влияет на снижение пропускной и провозной способности, что приводит к отрицательным значениям чистого дисконтированного дохода.

Если скорость грузовых и пассажирских поездов высокая на рассматриваемом участке, то принимается высокий уровень (High). Оба случая используются с разной степенью влияния (0,25 и 0,125).

1 Определяются нечеткие веса показателей и групп показателей. Каждому показателю задаём вес нечётким числом в виде интервала. Веса показателей и групп показателей задаются нечеткими числами. Группа экономических показателей имеет вид треугольной функции принадлежности $w_E = (0,3;0,35;0,4)$. Сумма весов показателей и групп определена в диапазоне $\sum_k w_{g,k}^{ind} = 1; \sum_g w_g^{grp} = 1$.

2 Иерархическая нечеткая агрегация показателей. Для каждого показателя определяется его относительное значение (низкий (Low); средний (Med); высокий (High), результатом которого является вектор принадлежностей. Определяются индикаторы внутри одной группы и объединяются с помощью набора правил. Для каждого показателя определяется вектор принадлежности по выражению.

$\mu_{L,g,k}^{(ind)} = (\mu_{Low}, \mu_{Med}, \mu_{High})$. По группам показателей (ресурсы, инфраструктура, технологии, экономика) с учетом разработанного набора правил формируется нечеткое множество для группы, а также интегральное значение оценки линии W с применением комбинированного набора правил $W_i \in R \subset [0,1]$, где R – нечеткое число, показывающее диапазон возможной оценки. На уровне показателей определяется уровень у каждого показателя (низкий/средний/высокий). На уровне групп формируются оценки (плохо/удовлетворительно/хорошо/отлично). На интегральном уровне объединяются все группы для итоговой оценки линии (неудовлетворительно/удовлетворительно/хорошо/отлично). Результаты исследования этапов 1–4 представлены в (табл. 3).

Таблица 3

Нечеткая агрегация показателей

Показатель	Нормализация	Единицы измерения	Допустимый диапазон значений
Группа исходных параметров железнодорожной линии Z			
$Z1$	(0,9;0,97,1,03;1)	чел.	[30;150]
$Z2$	–	км	–
$Z3$	$(x-1200)/(2200-1200)$	млн руб./год	[1200;2200]
$Z4$	ЭЖС = 0,0; ПАБ = 0,5; АБ = 1	баллы	[0;1]
Группа инфраструктурных показателей I			
$I1$	$(x-40)/(120-40)$	пар/сут	40–120
$I2$	$(x-0,5)/(0,9-0,5)$	%	0,5–0,9
$I3$	$(x-0,5)/(0,9-0,5)$	%	0,5–0,9
$I4$	$(x-30)/(70-30)$	км/ч	30–90
$I5$	$(x-60)/(120-60)$	км/ч	60–120
$I6$	$(x-0,6)/(1-0,6)$	–	0,6–1
Группа технологических показателей T			
$T1$	$(x-15)/(60-15)$	млн т/год	8–60
$T2$	$(x-600)/(2000-600)$	ваг/сут	4–2000
$T3$	$(x-40)/(80-40)$	км/ч	40–80
Группа экономических показателей $E1$			
$E1$	$(2000-x)/(2000-1200)$	млн руб./год	[1200;2000]
$E2$	$x/800$	млн руб.	[0;800]
$E3$	$(x-1,0)/(1,6-1,0)$	–	[-0,5;1,2]
Группа выходных параметров W			
$W1$	$(x-8)/(110-40)$	пар/сут	[8;110]
$W2$	$(x-300)/(1300-300)$	млн т-км/сут	[300;1300]
$W3$	$(x-0,5)/(0,9-0,5)$	–	[0,5;0,9]
$W4$	$(x-0,6)/(0,95-0,6)$	–	[0,6;0,95]
$W5$	$(x-2)/(12-2)$	млн т-км/км	[2;12]

3 Настройка модели под статистическим данным реализуется с использованием задачи оптимизации, которая имеет вид

$$\min_{\theta \in \Theta} \sum (d(W_i(\theta), W_i^{ref}))^2, \quad (1)$$

где d – расстояние между нечеткими числами; θ – параметры функций принадлежности и весов; W_i^{ref} – эталонные экспертные оценки.

4 На основе анализа чувствительности модели после определения W_1 в некоторых случаях можно получить диапазон значений $W_1 \in [W_1^{\min}; W_1^{\max}]$, что позволит выявлять железнодорожные линии с высокой степенью неопределенности показателей.

5 Формирование комплексных показателей по набору технических (PC_1), технологических (PC_2) и экономических показателей (PC_3). Для обобщения полученного множества признаков предлагается использовать новый синтетический признак, который характеризует группы показателей. Набор

технических параметров (PC_1) включает в себя $Z_2, T_1, I_1, W_2, W_1, T_2, I_5$. Набор технологических параметров (PC_2) включает в себя I_4, W_3, W_4, Z_4 . Набор экономических параметров (PC_3) включает в себя E_1, E_2, E_3, W_4, W_5 , значения которых определяются по выражениям:

$$\begin{aligned} PC_{1i} &= v_{11}z_{i1} + v_{12}z_{i2} + \dots + v_{1p}z_{ip}, \\ PC_{2i} &= v_{21}z_{i1} + v_{22}z_{i2} + \dots + v_{2p}z_{ip}, \\ PC_{3i} &= v_{31}z_{i1} + v_{32}z_{i2} + \dots + v_{3p}z_{ip}, \end{aligned} \quad (2)$$

где PC_{ki} – значение k -й компоненты для объекта i ; v_{kj} – вес признака j в компоненте k ; z_{ij} – стандартизированные значения признаков.

6 Прогноз изменения значений групп показателей при различных сценариях работы линий. Имеется множество мероприятий, которые оказывают воздействие на компоненты PC_1, PC_2, PC_3 для M , представленные в табл. 4, где 1 – негативное влияние; 0 – нейтральное; 1 – слабый положительный эффект; 2 – средний; 3 – сильный.

Таблица 4

Степень влияния мероприятий на компоненты показателей (I)

Мероприятия	Степень влияния на группы показателей		
	PC_1	PC_2	PC_3
1 Увеличение грузовой базы с учетом существующих мощностей предприятий	1	2	3
2 Увеличение грузовой базы с учетом новых мощностей предприятий	2	2	3
3 Увеличение грузовой базы за счет привлечения новых клиентов	1	2	3
4 Увеличение грузовой базы за счет оказания транспортно-логистических, терминально-складских и экспедиционных услуг	3	3	3
5 Изменение технологии эксплуатационной работы M (изменение режима работы линии, станции)	1	3	2
6 Совмещение профессий работников, обслуживающих M	0	1	3
7 Изменение технологии обслуживания станций и линий в зависимости от размеров перевозок	2	1	3
8 Техническое переоснащение	2	1	3
9 Цифровизация процессов управления перевозками	2	3	3
10 Ремонтные работы по консервированию работы M	-1	-1	2
11 Ремонтные работы по демонтажу M	-1	-1	3

Имеется набор сценариев функционирования M , который включает в себя поиск грузовой базы, модернизацию, консервирование, демонтаж, и комплексный сценарий, который включают в себя возможность перехода между сценариями (табл. 5) с указанием степени влияния различных мероприятий (I) на различные сценарии (P).

Таблица 5

Приоритеты мероприятий по сценариям (P)

Мероприятия	Сценарии				
	1 Поиск грузовой базы	2 Модернизация	3 Консервирование	4 Демонтаж	5 Комплексный сценарий
1 Увеличение грузовой базы с учетом существующих мощностей предприятий	3	2	0	0	3
2 Увеличение грузовой базы с учетом новых мощностей предприятий	3	3	0	0	3
3 Увеличение грузовой базы за счет привлечения новых клиентов	3	2	0	0	3
4 Увеличение грузовой базы за счет оказания транспортно-логистических, терминально-складских и экспедиционных услуг	3	3	0	0	3
5 Изменение технологии эксплуатационной работы M (изменение режима работы линии, станции)	2	3	2	0	3
6 Совмещение профессий работников, обслуживающих M	2	2	3	1	3
7 Изменение технологии обслуживания станций и линий в зависимости от размеров перевозок	2	3	2	0	3
8 Техническое переоснащение	1	3	0	0	3
9 Цифровизация процессов управления перевозками	1	3	0	0	3
10 Ремонтные работы по консервированию работы M	0	1	3	0	1
11 Ремонтные работы по демонтажу M	0	0	1	3	0

Ожидаемый эффект от реализации сценариев определяется как взвешенная сумма влияний мероприятий в каждом из рассматриваемых комплексных показателей:

$$E_{s,pc} = \sum_{l \in L} p_{s,l} \cdot i_{l,pc} \quad (3)$$

где $p_{s,l}$ – вес мероприятия в каждом из сценариев; $i_{l,pc}$ – вес каждого мероприятия в сценарии.

Суммарный эффект сценариев для комплексных показателей представлен в табл. 6.

Таблица 6

Эффект сценариев для комплексных показателей

Сценарии	PC_1	PC_2	PC_3
Поиск грузовой базы	29	48	56
Модернизация	43	61	65
Консервация	18	22	12
Демонтаж	9	5	-3
Комплексный	51	69	71

Зеленым цветом выделены положительные значения, желтым – умеренные и красным – наименьшие значения в рассматриваемых сценариях. Так, сценарий демонтажа имеет самые низкие показатели по всем группам параметров PC_1 , PC_2 , PC_3 .

Для формирования прогнозных значений параметров PC_1 , PC_2 , PC_3 выполняется минимаксная нормализация значений в диапазоне $[0;1]$ по выражению

$$PC_n = \frac{PC_i - PC_{\min}}{PC_{\max} - PC_{\min}}, \quad (4)$$

где PC_i – значение показателя; PC_{\min} , PC_{\max} – минимальное и максимальное значение в столбце.

Для построения планируемого временного диапазона вводится временная функция для каждого из сценариев, имеющая вид

$$PC_k(t) = PC_n \cdot (1 + \alpha_k \cdot (t - t_0)) + \varepsilon_t, \quad (5)$$

где α_k – коэффициент темпа роста; ε_t – случайное отклонение (принимается равным 0,1).

Общий интегральный индекс сценариев по набору параметров PC_1 , PC_2 , PC_3 определяется по выражению

$$S(t) = w_1 \cdot PC_1(t) + w_2 \cdot PC_2(t) + w_3 \cdot PC_3(t), \quad (6)$$

где w_1 , w_2 , w_3 – вес каждого из параметров PC_1 , PC_2 , PC_3 (принимается соответственно 0,3; 0,3; 0,4).

Результаты моделирования представлены на рис. 3.

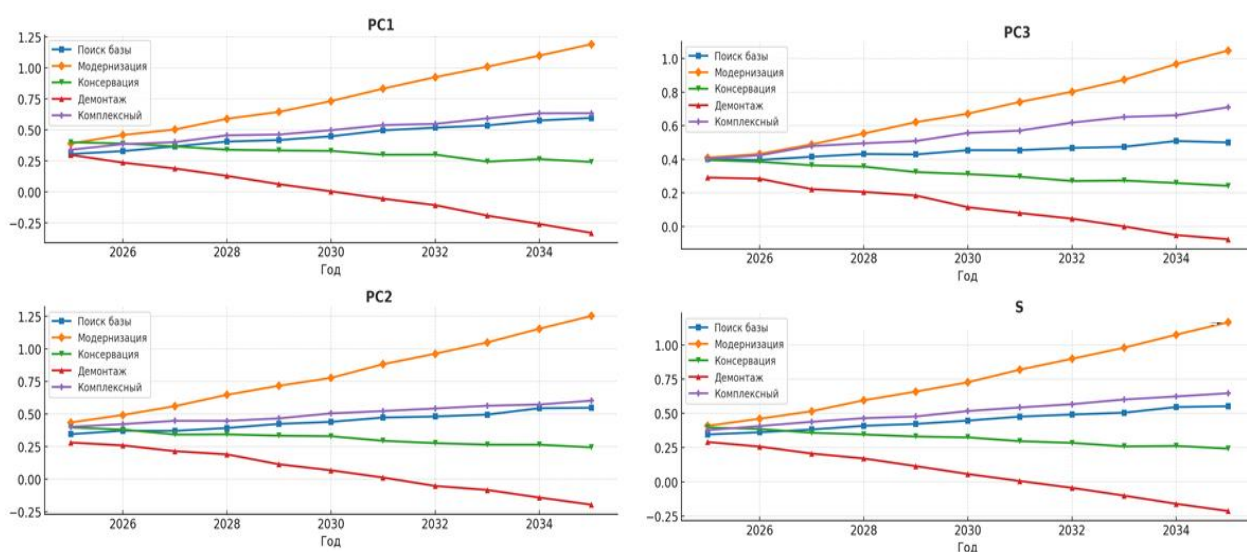


Рис. 3. Результаты моделирования параметров PC_1 , PC_2 , PC_3 и интегрального индекса (S)

Выводы

На основании комплексных показателей PC_1 , PC_2 , PC_3 сформирована интегральная модель (S) оценки и прогнозирования различных сценариев для M . Комплексные показатели сформированы как набор нормализованных технических, технологических и экономических показателей.

На основании рассчитанных значений комплексных показателей по пяти сценариям (поиск грузовой базы, модернизация, консервация, демонтаж и комплексный сценарий) вычислен интегральный индекс эффективности для каждого из сценариев.

Наибольшее значение интегрального индекса – у сценариев комплексного развития и модернизации. Однако при увеличении степени случайного отклонения установлено, что сценарий «модернизации» имеет более устойчивое поведение. Графически динамика сценариев по годам представлена в виде ломаных трендов с зонами вероятностного разброса, что позволяет видеть вариативность стратегических решений.

Таким образом, установлено, что рост PC_2 оказывает наибольшее влияние на общий интегральный результат. Для линий с низкой интенсивностью перевозок оптимальным направлением является поэтапная модернизация с последующим развитием интеграции с линиями других специализаций. Комплексный сценарий эффективен в условиях стабильной бюджетной поддержки, но менее устойчив к неопределённости внешних факторов. Консервация и демонтаж показывают снижение всех комплексных показателей, что отрицательно влияет на функционирование всей железнодорожной транспортной сети. Реализация сценария «модернизации» обеспечивает максимизацию интегрального индекса эффективности при минимальной чувствительности к неопределённости.

Список литературы

- 1 Транспортно-логистические системы в условиях системных изменений в экономике / Э. А. Мамаев, А. Н. Гуда, В. А. Финоченко, К. А. Годованый // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 2 (86). – С. 145–154. – DOI 10.46973/0201-727X_2022_2_145.
- 2 Долгий, А. И. Интеллектуальный мониторинг перевозочных процессов на основе динамического метода главных компонент / А. И. Долгий, С. М. Ковалев, А. Н. Гуда // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 2 (90). – С. 240–251. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_2_240.
- 3 Оценка возможности перераспределения грузопотока между видами транспорта на генеральных направлениях МТК «Север – Юг» / Д. В. Сорокин, А. И. Хашев, С. М. Наурузбаев [и др.] // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 2. – С. 243–253. – DOI 10.46973/0201727X_2025_2_243.
- 4 Development and management of a radon assessment strategy suitable for underground railway tunnelling projects / C. J. Purnell, G. Frommer, K. Chan, A. A. Auch // Radiation Protection Dosimetry. – 2004. – Vol. 108, No. 4. – P. 353. – DOI 10.1093/rpd/nch035.
- 5 Ballis, A. Issues on railway wagon asset management using advanced information systems / A. Ballis, L. Dimitriou // Transportation Research Part C : Emerging Technologies. – 2010. – Vol. 18, No. 5. – P. 807–820.
- 6 Никитин, А. Б. Возможность внедрения цифровой радиосвязи и организации передачи данных между станциями на малонапряженных линиях / А. Б. Никитин, И. В. Кушпиль // Автоматика на транспорте. – 2019. – Т. 5, № 1. – С. 45–61. – DOI 10.20295/2412-9186-2019-1-45-61.
- 7 Interaction of Intensive and Low-Density Lines : Management Approach and Models. In : A. Manakov, A. Edigarian [et al.]. International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia-2021 / К. Е. Ковалев, А. В. Новичихин // TransSiberia-2021. 8 Lecture Notes in Networks and Systems.

References

- 1 Transport and logistics systems in the context of systemic changes in the economy / E. A. Mamaev, A. N. Guda, V. A. Finochenko, K. A. Godovany // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobshcheniya. – 2022. – No. 2 (86). – P. 145–154. – DOI 10.46973/0201-727X_2022_2_145.
- 2 Dolgiy, A. I. Intelligent monitoring of transportation processes based on the dynamic method of principal components / A. I. Dolgiy, S. M. Kovalev, A. N. Guda // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobshcheniya. – 2023. – No. 2 (90). – P. 240–251. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_2_240.
3. Assessment of the possibility of redistributing freight traffic between modes of transport on the main routes of the North-South International Transport Corridor / D. V. Sorokin, A. I. Khashev, S. M. Nauryzbaev [et al.] // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobshcheniya. – 2025. – No. 2. – P. 243–253. – DOI 10.46973/0201727X_2025_2_243.
- 4 Development and management of a radon assessment strategy suitable for underground railway tunnelling projects / C. J. Purnell, G. Frommer, K. Chan, A. A. Auch // Radiation Protection Dosimetry. – 2004. – Vol. 108, No. 4. – P. 353. – DOI 10.1093/rpd/nch035.
- 5 Ballis, A. Issues on railway wagon asset management using advanced information systems / A. Ballis, L. Dimitriou // Transportation Research Part C : Emerging Technologies. – 2010. – Vol. 18, No. 5. – P. 807–820.
- 6 Nikitin, A. B. Possibility of introducing digital radio communication and organizing data transmission between stations on low-traffic lines / A. B. Nikitin, I. V. Kushpil // Automation in transport. – 2019. – Vol. 5, No. 1. – P. 45–61. – DOI 10.20295/2412-9186-2019-1-45-61.
- 7 Interaction of Intensive and Low-Density Lines : Management Approach and Models. In : A. Manakov, A. Edigarian [et al.]. International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia-2021 / K. E. Kovalev, A. V. Novichikhin // TransSiberia-2021. 8 Lecture Notes in Networks and Systems.

Vol. 402. – Springer, Cham. – DOI 10.1007/978-3-030-96380-4_76.

8 **Нутович, В. Е.** Алгоритмическое обеспечение и концептуальные модели логистического навигатора в части определения условий перевозок грузов различными видами транспорта / В. Е. Нутович, Т. В. Тулина // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 1 (97). – С. 86–93. – DOI 10.46973/0201-727X_2025_1_86.

9 **Вакуленко, С. П.** Малодеятельные линии: состояние и варианты оптимизации / С. П. Вакуленко, А. В. Колин, Н. Ю. Евренова // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15, № 3 (70). – С. 174–180. – DOI 10.30932/1992-3252-2017-15-3-16.

10 Механизм диагностики эксплуатации малоинтенсивных железнодорожных линий на основе нечеткого когнитивного моделирования / К. Е. Ковалев, А. В. Новичихин, И. Л. Сакович, В. А. Болотин // Автоматика на транспорте. – 2023. – Т. 9, № 1. – С. 72–86. – DOI 10.20295/2412-9186-2023-9-01-72-86.

11 **Ковалев, К. Е.** Процедура планирования работы малоинтенсивных железнодорожных линий: логистические аспекты и нейросетевые модели / К. Е. Ковалев, А. В. Новичихин // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2023. – Т. 20, № 2. – С. 325–335. – DOI 10.20295/1815-588X-2023-2-325-335.

12 **Sobol, I. M.** Numerical Monte Carlo Methods / I. M. Sobol ; Main editorial board of physical and mathematical literature. – Moscow : Nauka, 1973. – 313 p.

13 **Михайлов, Г. А.** Рандомизированные алгоритмы метода Монте-Карло для задач со случайными параметрами (метод «двойной рандомизации») / Г. А. Михайлов // Сибирский журнал вычислительной математики. – 2019. – Т. 22, № 2. – С. 187–200. – DOI 10.15372/SJNM20190205.

14 **Ермаков, С. М.** Метод Монте-Карло для решения систем ОДУ / С. М. Ермаков, Т. М. Товстик // Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия. – 2019. – Т. 6, № 3. – С. 411–421. – DOI 10.21638/11701/spbu01.2019.306.

15 **Юнусова, Л. Д.** Анализ методов ценообразования опционов : модель Блэка – Шоулза и метод Монте-Карло // Международный научный журнал. – 2020. – № 4. – С. 64–67. – DOI 10.34286/1995-4638-2020-73-4-64-67.

Vol. 402. – Springer, Cham. – DOI 10.1007/978-3-030-96380-4_76.

8 **Nutovich, V. E.** Algorithmic support and conceptual models of a logistics navigator in terms of determining the conditions for transporting goods by various modes of transport / V. E. Nutovich, T. V. Tulina // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobshcheniya. – 2025. – No. 1 (97). – P. 86–93. – DOI 10.46973/0201-727X_2025_1_86.

9 **Vakulenko, S. P.** Low-traffic lines: status and optimization options / S. P. Vakulenko, A. V. Kolin, N. Yu. Evreenova // World of Transport. – 2017. – Vol. 15, No. 3 (70). – P. 174–180. – DOI 10.30932/1992-3252-2017-15-3-16.

10 Mechanism for diagnosing the operation of low-intensity railway lines based on fuzzy cognitive modeling / K. E. Kovalev, A. V. Novichikhin, I. L. Sakovich, V. A. Bolotin // Automation in transport. – 2023. – Vol. 9, No. 1. – P. 72–86. – DOI 10.20295/2412-9186-2023-9-01-72-86.

11 **Kovalev, K. E.** Procedure for planning the operation of low-intensity railway lines : logistic aspects and neural network models / K. E. Kovalev, A. V. Novichikhin // Proceedings of Petersburg transport university. – 2023. – Vol. 20, No. 2. – P. 325–335. – DOI 10.20295/1815-588X-2023-2-325-335.

12 **Sobol, I. M.** Numerical Monte Carlo Methods / I. M. Sobol ; Main editorial board of physical and mathematical literature. – Moscow : Nauka, 1973. – 313 p.

13 **Mikhailov, G. A.** Randomized algorithms of the Monte Carlo method for problems with random parameters (the "double randomization" method) / G. A. Mikhailov // Siberian journal of numerical mathematics. – 2019. – Vol. 22, No. 2. – P. 187–200. – DOI 10.15372/SJNM20190205.

14 **Ermakov, S. M.** Monte Carlo method for solving ODE systems / S. M. Ermakov, T. M. Tovstik // Vestnik of Saint Petersburg University. Mathematics. Mechanics. Astronomy. – 2019. – Vol. 6, No. 3. – P. 411–421. – DOI 10.21638/11701/spbu01.2019.306.

15 **Yunusova, L. D.** Analysis of options pricing methods : the Black – Scholes model and Monte Carlo method // International Scientific Journal. – 2020. – No. 4. – P. 64–67. – DOI 10.34286/1995-4638-2020-73-4-64-67.

K. E. Kovalev, A. V. Novichikhin

DEVELOPING OPERATIONAL SCENARIOS FOR A LOW-INTENSITY RAILWAY LINES BASED ON A SET OF PARAMETERS

Abstract. Modern railway line specialization has a complex structure that takes into account various indicators. This article proposes a system for managing railway line parameters

using groups of initial, technological, infrastructure, and economic indicators, which are used to model scenarios for the operation of low-volume railway lines. The railway line parameter management system is based on fuzzy logic, using a set of rules for the mutual influence of various indicators.

The proposed system of railway line parameters allows for the determination of fuzzy weights for indicators and groups of indicators to form a complex integral index, that provide a more comprehensive characterization of the operation of railway lines with various specializations.

Scenarios for the operation for low-volume railway lines are presented for the subsequent development of control actions to improve the efficiency of the railway transport network.

The results of the study can be applied in developing scenarios for the development of the railway transport network, as well as in the formation of comprehensive programs for the development of the transport system, taking into account the specific features of the indicator groups under consideration.

Keywords: low-intensity railway lines, scenario modeling, railway line performance indicators, available capacity, railway transport, fuzzy logic, principal component analysis.

For citation: Kovalev, K. E. Developing operational scenarios for a low-intensity railway lines based on a set of parameters / K. E. Kovalev, A. V. Novichikhin // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobshcheniya. – 2025. – No. 4. – P. 90–99. – DOI 10.46973/0201–727X_2024_4_90.

Сведения об авторах

Ковалев Константин Евгеньевич

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (РГУПС),
кафедра «Логистика и коммерческая работа»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: kovale@pgups.ru

Новичихин Алексей Викторович

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (РГУПС),
кафедра «Логистика и коммерческая работа»,
доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой,
e-mail: novitchihin@bk.ru

Information about the authors

Kovalev Konstantin Evgenievich

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS),
Chair “Logistics and Commercial Work”,
Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor,
e-mail: kovale@pgups.ru

Novichikhin Aleksey Viktorovich

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS),
Chair “Logistics and Commercial Work”,
Doctor of Engineering Sciences,
Associate Professor, Head of the Chair,
e-mail: novitchihin@bk.ru