

РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МАЛОИНТЕНСИВНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЛИНИЙ

КОВАЛЕВ Константин Евгеньевич, канд. техн. наук, доцент кафедры; e-mail: kovalev_kostia@mail.ru

НОВИЧИХИН Алексей Викторович, д-р техн. наук, профессор кафедры; e-mail: novitchihin@bk.ru

МЕДВЕДЬ Оксана Анатольевна, канд. техн. наук, доцент кафедры; e-mail: oa.medved@yandex.ru

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, кафедра «Логистика и коммерческая работа», Санкт-Петербург

Проблема эффективного развития методологии управления перевозками на малоинтенсивных железнодорожных линиях имеет важное социально-экономическое и хозяйственное значение для функционирования железнодорожной транспортной сети, обеспечения потребностей производства и населения в перевозках. В статье предложен комплекс мероприятий по решению ряда теоретических задач, направленных на повышение эффективности функционирования малоинтенсивных линий и перехода их из категории убыточных в безубыточные, а также разработаны варианты перехода линий в категорию доходных. Представлены методические основы функционирования железнодорожных линий в контексте управления перевозками на малоинтенсивных линиях. Приведена математическая постановка задачи устойчивого функционирования и развития малоинтенсивных линий. Установлены параметры, критерии и ограничения целевых функций. Разработан механизм интегральной комплексной оценки малоинтенсивных линий, который позволяет оценить работу линии на различных этапах функционирования и реализуемых управляющих воздействиях, направленных на интенсификацию движения. Разработаны варианты функционирования линий при взаимодействии интенсивных, малоинтенсивных и проектируемых линий. Представлена концептуальная модель эффективного функционирования малоинтенсивных линий. Адаптирован механизм оценки предполагаемых затрат и комплексного планируемого эффекта под условия реализации на малоинтенсивных линиях.

Ключевые слова: управление процессами перевозок; специализация железнодорожных линий; малоинтенсивные линии; интегральная оценка; пропускная способность; железнодорожный транспорт.

DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-02-150-161

▼ Введение

В современных условиях на железных дорогах Российской Федерации имеется тенденция к увеличению количества и протяженности малоинтенсивных линий (МИЛ). Проблема функционирования и развития МИЛ рассмотрена в отечественных и зарубежных исследованиях [1–8].

Анализ исследований показал отсутствие разработанного методологического подхода, позволяющего вывести низкодоходные и убыточные линии к точке окупаемости за счет технических, технологических или инвестиционных мероприятий. Большинство существующих методик сводятся к реализации четырех вариантов развития МИЛ, а именно:

передача сторонним организациям, законсервирование, демонтаж и поиск путей снижения эксплуатационных расходов. Такого количества вариантов недостаточно для решения проблемы функционирования МИЛ, так как несмотря на убыточность, такие линии имеют важное социальное и стратегическое значение для формирования транспортной сети.

Разработка комплекса мероприятий по совершенствованию эксплуатации МИЛ позволяет учитывать взаимоисключающие факторы для каждого из видов железнодорожных линий, в том числе комплексирование параметров проектирования и показатели эффективности на количественном и качественном уровнях.

1. Современное состояние вопроса эксплуатации малоинтенсивных линий

Железнодорожные МИЛ проектировались и строились в связи с потребностью в перевозках. В процессе эксплуатации линий поменялась политическая, экономическая и демографическая ситуация. Снизилась потребность в перевозках, что привело к убыточности линии. Такой вариант перехода в МИЛ возможен и для существующих интенсивных линий на сегодняшний день.

По действующей методике классификации и специализации железнодорожных линий¹ к МИЛ относятся линии с фактическими размерами движения поездов не более 8 пар поездов в сутки и грузонапряженностью не более 5,0 млн т-км брутто/км в год. При этом также выделен ряд железнодорожных линий, имеющих особенности технической и технологической эксплуатации (рис. 1), которые в комплексе представляют транспортную сеть. Имея общую нормативную базу, методику расчета затрат и доходов, наличие персонала, обслуживающего линии различными подразделениями ОАО «РЖД», фактические размеры движения, указанные линии имеют разный уровень потребностей в перевозках и различные перспективы развития, в соответствии с действующей программой развития транспорта². Перспективы эксплуатации каждой из категорий линий также различны, поэтому существующие методологические основы других категорий линий неэффективно использовать для малоинтенсивных.

Высокоскоростные линии являются перспективным направлением для проектирования и строительства. Такие линии могут эксплуатироваться только для пассажирских перевозок с высокой интенсивностью движения поездов. Скоростное движение реализовано в нашей стране и используется для пассажирских перевозок между крупными населенными пунктами. Особогрузонапряженные

линии предназначены в основном для грузового движения, имеют высокую доходность и современные научные исследования, главным образом направлены на поиск технических и технологических решений для повышения пропускной способности на таких линиях. На тяжеловесных линиях курсируют поезда повышенной массы и длины, соответственно, научные исследования в этой области направлены на снижение уровня износа верхнего и нижнего строения железнодорожного пути. Линии с преимущественно пассажирским движением связывают населенные пункты и пригороды, к таким линиям предъявляются высокие требования по уровню комфорта обслуживания пассажиров как на станциях, так и в пути следования. К преимущественно грузовым движениям относят линии, не попавшие под остальные категории. На таких линиях решаются задачи повышения пропускной способности и адаптации технической оснащенности линии к динамично изменяющимся объемам перевозок и снижению неравномерностей перевозочного процесса. По всем перечисленным линиям проведен обзор научных исследований [9–14]. Недостаточно исследованными все еще остаются МИЛ в связи с низкой доходностью таких линий. Но несмотря на это, МИЛ имеют высокую социальную и политическую значимость для поддержания транспортной целостности страны.

Существующая проблематика МИЛ и инструментарий комплексного синергетико-индикаторного подхода [15] представлены на (рис. 2). Функционирование МИЛ основано на нормативных документах с использованием различных видов ресурсов. На МИЛ оказывают воздействие стратегии развития железнодорожного транспорта на разные горизонты планирования, государственная и социально-экономическая политика. МИЛ можно классифицировать на транзитные, тупиковые и находящиеся на границе участков с другим территориальным управлением. Результатом работы МИЛ является предоставление услуги по перевозке и устойчивое функционирование транспортной сети. Уникальность предлагаемого подхода состоит в разработанных на основании существующих нормативных баз,

¹ Распоряжение ОАО «РЖД» от 13 января 2020 г. № 28/р «Об утверждении Методики классификации и специализации железнодорожных линий ОАО «РЖД»». — М. — 8 с.

² Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р.

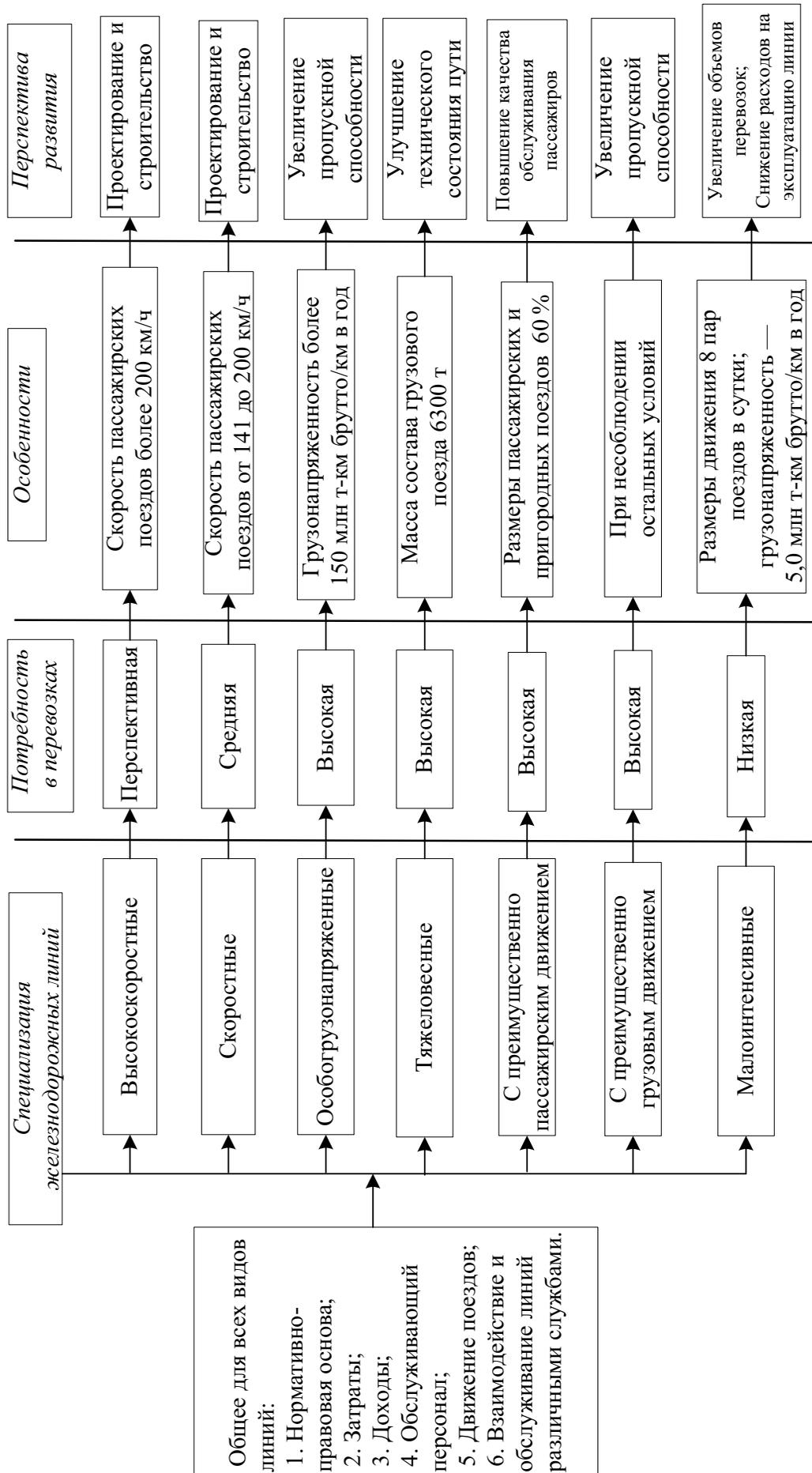


Рис. 1. Основы функционирования железнодорожных линий в контексте управления перевозками

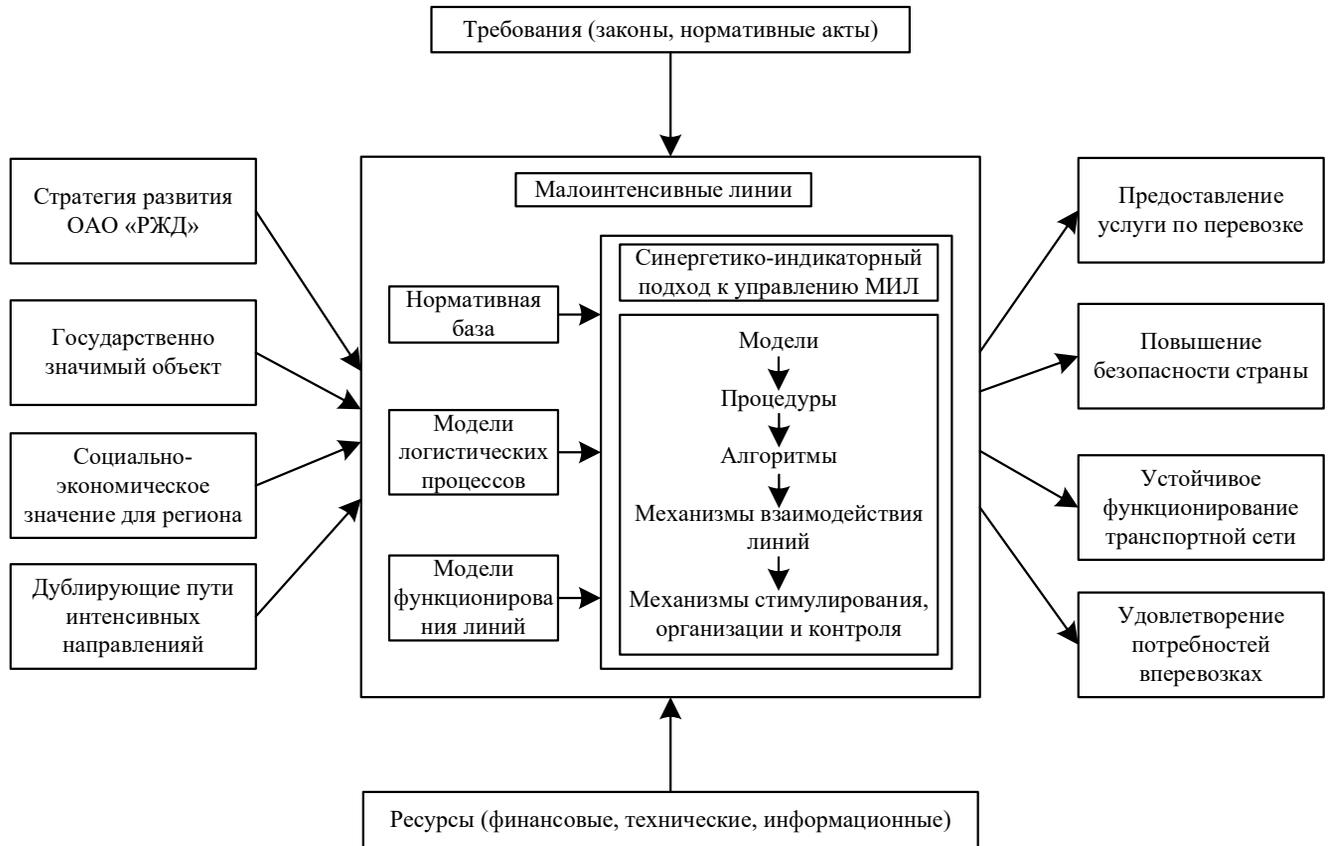


Рис. 2. Проблематика функционирования МИЛ

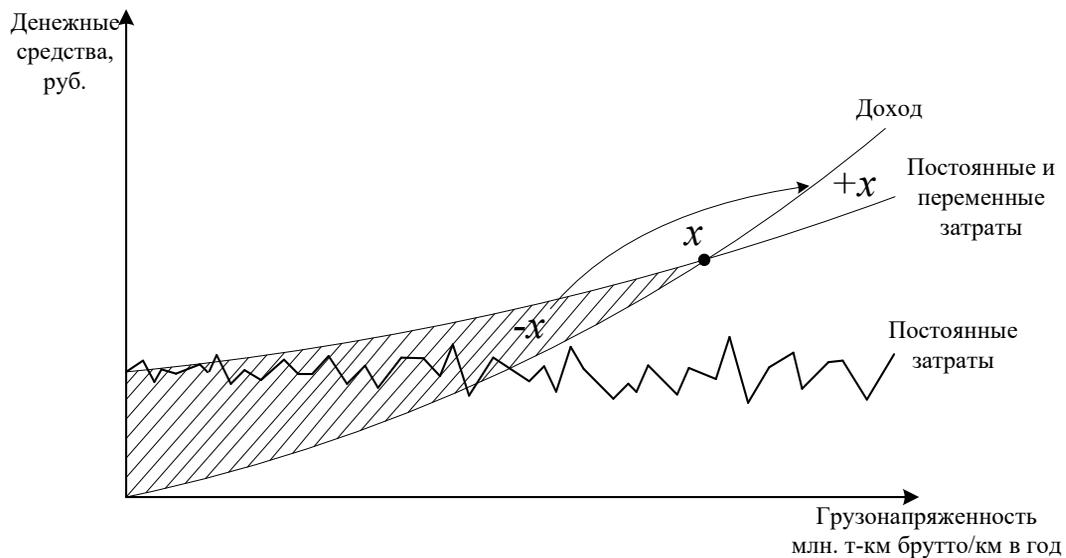


Рис. 3. График зависимости грузонапряженности от оборота денежных средств на МИЛ

методик моделирования логистических процессов, процедур и алгоритмов, направленных на повышение эффективности работы МИЛ.

Большинство МИЛ являются убыточными (-x), так как размеры перевозок по ним не приносят достаточного дохода, чтобы компенсировать затраты на эксплуатацию линии. В укрупненном

виде зависимость доходности линии от размеров перевозок приведена на рис. 3.

На графике приведена линия постоянных затрат, которые в современных условиях могут изменяться. Также представлены функции линий дохода и суммы постоянных и переменных затрат. Пересечение функций линий дохода

и суммы постоянных и переменных затрат является точкой окупаемости (x). Выделенный сегмент характеризует работу МИЛ в условиях, когда размеры затрат превышают доходы, получаемые от ее деятельности. Для перехода из ($-x$) в ($+x$) определена точка безубыточности на пересечении кривой дохода и постоянных и переменных затрат в общем виде. Предлагаемые в статье мероприятия направлены на повышение эффективности работы МИЛ и перехода из убыточной, заштрихованной зоны ($-x$) в точку безубыточности (x) и разработку способов перехода в категорию доходной линии ($+x$). Целью статьи является разработка инструментария управления МИЛ, обеспечивающего повышение эффективности их функционирования, разработка механизмов и моделей и на их базе формирование вариантов мероприятий для выхода из убыточности МИЛ.

2. Математическая постановка задачи устойчивого функционирования и развития МИЛ

Разрабатывается траектория устойчивого функционирования МИЛ с возможностью перехода из категории убыточных линий в категорию доходных. Тогда математическую постановку задачи устойчивого функционирования и развития МИЛ в соответствии с [15] можно выполнить следующим образом. Пусть I — набор вариантов функционирования z множества МИЛ (Z), имеющих начальные значения количественных и качественных показателей:

$$I = \{I_z, z \in [1, Z]\},$$

где Z — множество участков МИЛ одной из рассматриваемых железных дорог.

Устойчивое функционирование МИЛ определяется набором ключевых индикаторов из большого многообразия параметров:

$$F(S) = \{f_k(I), k \in [1, K]\},$$

где F — функция состояния МИЛ на период времени (S); k — количество параметров ($k=3$); K — общее количество имеющихся параметров МИЛ.

Критериями оптимальности вариантов развития являются:

1. Технологические показатели (скорость, грузонапряженность и другие) — $N_{n,i}(0)$, $n \in N$, $i \in I$, где N — множество технических показателей; i — рассматриваемый вариант функционирования МИЛ.

2. Качественные показатели (густота железнодорожной сети в регионе, коэффициент использования транспортной сети, качество обслуживания пассажиров) — $Q_{q,i}(0)$, $q \in Q$, $i \in I$, где Q — множество качественных показателей; q — выбранные качественные показатели.

3. Экономические показатели убыточности компании ОАО «РЖД» от неэффективной эксплуатации МИЛ — $Ep_{j,i}(0)$, $j \in J$, $i \in I$, где J — множество экономических показателей; j — выбранные экономические показатели.

Требуется установить из множества допустимых значений параметров I такие, которые соответствуют оптимальным значениям всех целевых ограничений f_k и позволяют вывести МИЛ к точке безубыточности:

$$f_N^k(I) \rightarrow opt, \text{ при } k \in [1, K],$$

$$f_Q^k(I) \rightarrow opt, \text{ при } k \in [1, K],$$

$$f_J^k(I) \rightarrow \min, \text{ при } k \in [1, K].$$

Вариант I_1 удовлетворяет условиям, если не существует другого варианта I_z , имеющего лучшие параметры. Для устойчивого функционирования и развития МИЛ требуется решение следующих задач:

1. Разработка механизма интегральной комплексной оценки МИЛ.

2. Создание концептуальной модели функционирования МИЛ.

3. Разработка механизма оценки предполагаемых затрат и комплексного планируемого эффекта от реализации мероприятий по совершенствованию работы линии.

3. Механизм интегральной комплексной оценки МИЛ

Комплексный анализ позволяет оценить эффективность работы различных участков

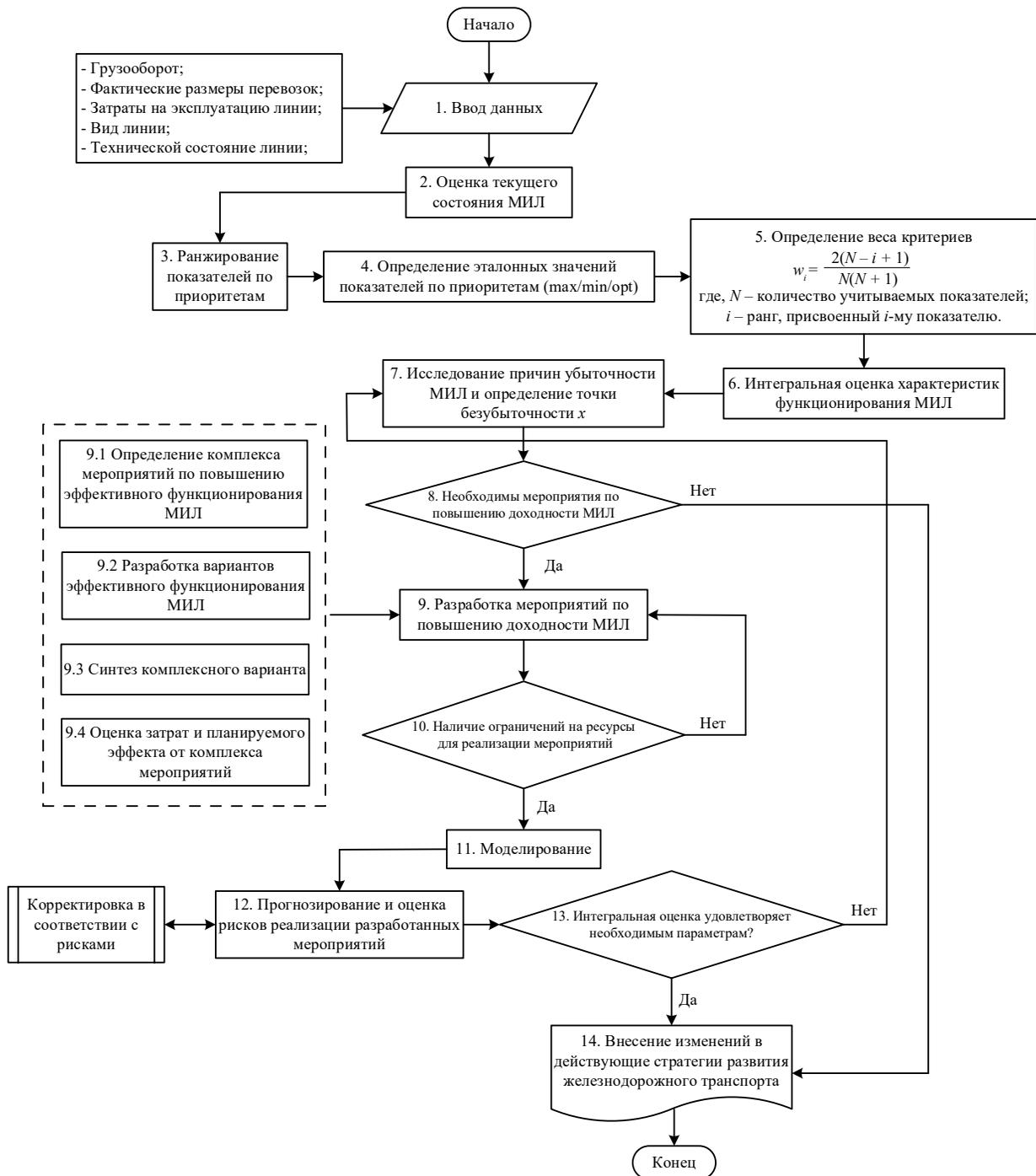


Рис. 4. Алгоритм интегральной комплексной оценки мероприятий по повышению эффективности функционирования МИЛ

МИЛ [16, 17] по набору индикаторных показателей. В данной работе предлагается дополнить существующие знания об интегральной оценке [18, 19] в технической сфере эксплуатации МИЛ, определив интегральную оценку по набору показателей (рис. 4).

К количественным показателям отнесены: грузооборот; среднее количество пар поездов

в сутки за год; затраты на функционирование МИЛ млн/год; вид МИЛ; окупаемость линии. К качественным показателям отнесены: техническое состояние линии; квалификация персонала участка; уровень социальной значимости линии. Перечисленные показатели можно получить из технической и финансовой отчетности подразделений железной дороги.

Таблица 1. Обобщенные показатели работы шести МИЛ Октябрьской железной дороги

Критерий	Линии						Ранг	Целевая функция	Эталонное значение
	1 Брусничная — Лендеры	2 Тосно — Стекольный	3 Калязин пост — Углич	4 Земцы — Жарковский	5 Тихвин — Будогощь	6 Лодейное Поле — Питкяранта			
Грузооборот (Q), млн т/год	4,2	3,1	1,8	3	2	3	1	max	5
Среднее количество пар поездов в сутки за год (N), пар поездов	4	3	2	4	5	6	3	max	8
Затраты на функционирование МИЛ ($З$), млн/год	15,2	12	9	17	10	11	4	min	9
Вид МИЛ (n_n), (транзитная — 1, тупиковая — 2, на границе участка — 3)	1	2	3	1	1	1	5	opt	1
Окупаемость (PP) линии (да — 1/нет — 2)	1	2	1	1	1	1	2	min	1
Техническое состояние линии (T) (отлично — 1, очень хорошо — 2, хорошо — 3, удовлетворительно — 4)	хорошо	очень хорошо	хорошо	хорошо	очень хорошо	удовл.	7	max	1
Квалификация персонала участка (TP) (отлично — 1, очень хорошо — 2, хорошо — 3, удовлетворительно — 4)	хорошо	очень хорошо	очень хорошо	удовл.	хорошо	хорошо	8	max	1
Уровень социальной значимости линии (C), (1 — высокий, 2 — средний, 3 — низкий)	высокий	низкий	средний	высокий	низкий	средний	6	max	1

Таблица 2. Расчет количественных оценок

№	Показатель	Вес, w_i	1	2	3	4	5	6
1	Q	0,222	0,187	0,138	0,080	0,133	0,222	0,133
2	N	0,167	0,083	0,063	0,042	0,083	0,104	0,167
3	$З$	0,139	0,235	0,185	0,139	0,262	0,154	0,170
4	n_n	0,111	0,111	0,222	0,333	0,111	0,111	0,111
5	PP	0,194	0,194	0,389	0,389	0,389	0,389	0,194
6	T	0,056	0,039	0,044	0,039	0,039	0,044	0,028
7	TP	0,028	0,019	0,022	0,022	0,014	0,019	0,019
8	C	0,083	0,075	0,042	0,058	0,075	0,042	0,058
Всего			0,943	1,105	1,102	1,107	1,086	0,881

Набор показателей для методики расчета комплексной интегральной оценки МИЛ по набору критериев приведен в табл. 1.

Количественные оценки параметров представлены в табл. 2 и 3. При этом вес w_i рассчитывается по формуле:

$$w_i = \frac{2(N - i + 1)}{N(N + 1)},$$

где N — количество учитываемых показателей; i — ранг, присвоенный i -му показателю.

Из рассматриваемых примеров МИЛ установлено, что наибольшее значение комплексной

интегральной оценки по набору количественных и качественных критериев имеет вариант 4. Из полученного значения интегральной оценки можно определить параметры, в большей степени влияющие на работу МИЛ. Предлагаемый механизм позволяет определить категории линий, которые не имеют перспектив развития.

4. Разработка концептуальной модели функционирования МИЛ

Разработана концептуальная модель эффективного функционирования МИЛ на период планирования $t \in [0, T]$, реализуемая посредством взаимодействия интенсивных,

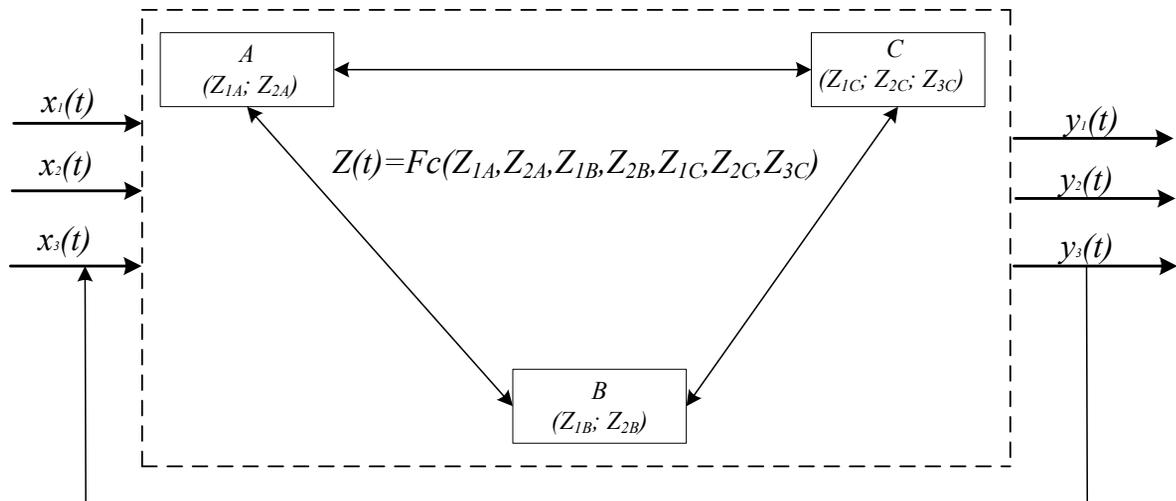


Рис. 5. Схема математической модели взаимодействия интенсивных, проектируемых (модернизируемых) и малоинтенсивных линий

проектируемых (модернизируемых) и малоинтенсивных линий (рис. 5).

Взаимодействие интенсивных (A), малоинтенсивных (B) и проектируемых (модернизируемых) линий (C) основано на потребности предприятий, клиентов и грузовладельцев в перевозках $x_1(t)$, потребности населения в перевозках $x_2(t)$ и неравномерности транспортных потоков $x_3(t)$.

Учитываемыми характеристиками (A) являются приведенная грузонапряженность (Z_{1A}) и техническая скорость грузовых поездов (Z_{2A}). Характеристиками (B) являются размеры движения (Z_{1B}) и приведенная грузонапряженность (Z_{2B}). Характеристиками (C) являются приведенная грузонапряженность (Z_{1C}) и чистый дисконтированный доход (Z_{2C}) и эксплуатационные расходы (Z_{3C}). Состояние системы Z за период времени (t) есть функция f свойств ее элементов, которая представлено выражением:

$$Z(t) = f(Z_{1A}, Z_{2A}, Z_{1B}, Z_{2B}, Z_{1C}, Z_{2C}, Z_{3C}).$$

Параметры приведенной функции учитываются в дальнейших разрабатываемых механизмах, процедурах и алгоритмах. Представленная модель описывает процессы в транспортной сети, состоящей из линий, имеющих ряд особенностей при условии их комплексного взаимодействия, учета входного и выходного потоков. В концептуальной модели предложено описание состояний системы

в виде функции ее свойств. При изменении свойств модели возможно получение различных состояний системы. Анализ возможных состояний позволит определить оптимальное соотношение параметров интенсивных, малоинтенсивных и проектируемых линий. Результатом модельных экспериментов является поиск оптимальных выходных параметров, а именно реализованных перевозок $y_1(t)$, удовлетворенности населения в перевозках $y_2(t)$ и эффективность функционирования транспортной системы $y_3(t)$.

5. Механизм оценки предполагаемых затрат и комплексного планируемого эффекта

В условиях разработки вариантов повышения эффективности работы МИЛ и повышения их доходности для выхода на самоокупаемость возникает необходимость определения набора мероприятий, которые позволят достичь максимального эффекта при существующих ограничениях [20, 21] по финансированию МИЛ. Для МИЛ определен набор мероприятий, которые могут быть реализованы для повышения ее доходности. Рассмотрен комплекс служб обслуживающих МИЛ, и для каждой из служб приведено по несколько возможных мероприятий совершенствования. Экспертным методом определены ориентировочные размеры затрат и ожидаемого эффекта от их реализации, которые могут меняться в зависимости от условий эксплуатации (табл. 3).

Таблица 3. Укрупненный перечень мероприятий для повышения эффективности работы МИЛ

Мероприятия	Затраты, млн руб/год, S	Эффект млн руб/год, Q	Эффективность (Э = Q/S)
<i>Путевое хозяйство</i>			
1. Снижение фонда оплаты труда за счет сокращенного графика работы	5	3	0,600
2. Повторное использование материалов верхнего строения пути с интенсивных линий	9	4	0,444
<i>Локомотивное хозяйство</i>			
3. Использование универсальных тепловозов для поездной и маневровой работы	45	5	0,111
4. Использование рельсовых автобусов	52	3	0,058
<i>Служба ШЧ</i>			
5. Переход на телефонные средства связи	57	6	0,105
6. Применение RFID систем ³	44	5	0,114
<i>Служба движения</i>			
7. Пересмотр тарифов перевозок для МИЛ	7	4	0,571
8. Комбинирование грузовых и пассажирских вагонов в составе одного поезда	12	5	0,417
9. Работа разъездного дежурного по станциям, работающего в светлое время суток	5	4	0,800
10. Использование МИЛ в качестве объездных линий во время технологических окон на интенсивных линиях	4	2	0,500

Таблица 4. Затраты и эффект нарастающего итога от мероприятий для повышения эффективности работы МИЛ

Мероприятия	Затраты, млн руб/год, S	Эффект млн руб/год, Q	Затраты нарастающим итогом	Эффект нарастающим итогом
Работа разъездного дежурного по станциям, работающего в светлое время суток	5	4	5	4
Снижение фонда оплаты труда за счет сокращенного графика работы	5	3	10	7
Пересмотр тарифов перевозок для МИЛ	7	4	17	11
Использовании МИЛ в качестве обходных линий во время технологических окон на интенсивных линиях	4	2	21	13
Повторное использование материалов верхнего строения пути с ИЛ	9	4	30	17
Комбинирование грузовых и пассажирских вагонов в составе одного поезда	12	5	42	22
Применение RFID систем ³	44	5	86	27
Использование универсальных тепловозов для поездной и маневровой работы	45	5	131	32
Переход на телефонные средства связи	57	6	188	38
Использование рельсовых автобусов	52	3	240	41

³ RFID-системы — эффективный инструмент контроля за локомотивами, пассажирскими и грузовыми вагонами. — URL: <https://isbc-rfid.ru/applications/trains/>.

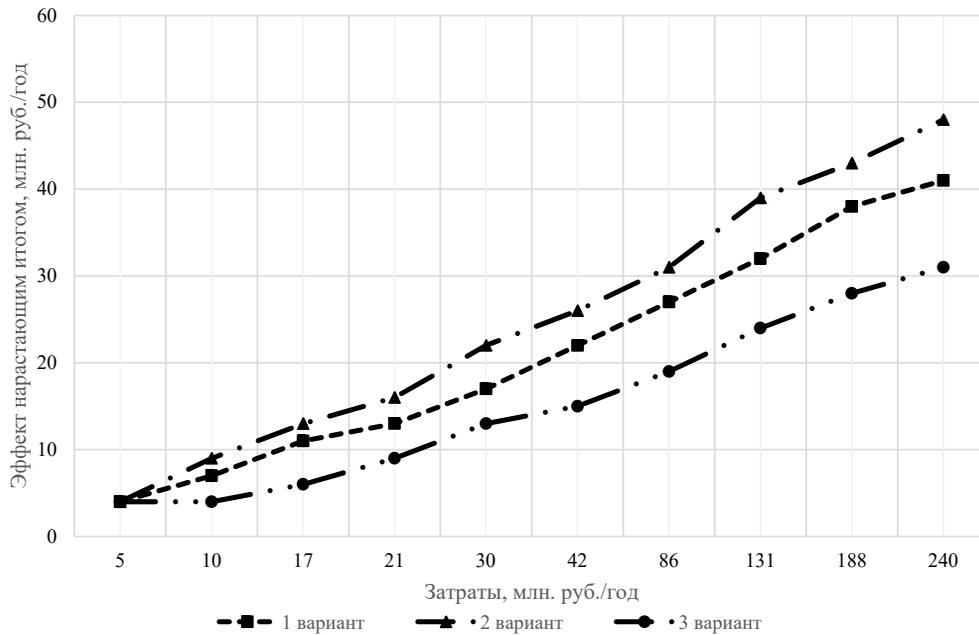


Рис. 6. График зависимости затраты и ожидаемого эффекта от реализуемых мероприятий на МИЛ с различными вариантами финансирования

В табл. 4 сгруппированы мероприятия в порядке убывания эффективности для определения нарастающего итога от самого эффективного мероприятия к менее эффективным. Первым установлено мероприятие, дающее максимальный эффект, далее — по убыванию с нарастающим итогом.

Функции при различных вариантах финансирования и ожидаемого эффекта представлены на рис. 6. Как видно из графика, размер ожидаемого эффекта не всегда прямо пропорционален размеру затрат. Фактический эффект может быть меньше расчетного за счет дискретности предлагаемых мероприятий.

В представленных функциях 1 вариант сформирован для оптимистичного варианта финансирования, 2 — для умеренного и 3 — для пессимистичного варианта финансирования линии. Представленные варианты функции отражают различные комбинации ожидаемого эффекта от реализации мероприятий различными службами железной дороги. Таким образом, в рассматриваемых условиях целевая функция для варианта 1 имеет вид:

$$4x_1 + 3x_2 + 4x_3 + 2x_4 + 4x_5 + 5x_6 + 5x_7 + 5x_8 + 6x_9 + 3x_{10} \rightarrow \max x_i \{0; 1\};$$

Решается задача при задании различных уровней финансирования R , и определяется максимальный ожидаемый эффект $\max x_i \{0; 1\}$ при ограничениях в размере планируемых затрат, млн руб./год:

$$5x_1 + 5x_2 + 7x_3 + 4x_4 + 9x_5 + 12x_6 + 44x_7 + 45x_8 + 57x_9 + 52x_{10} \leq R.$$

Для решения такой задачи подходит метод динамического программирования, что будет являться направлением дальнейших исследований. Результатом исследования является решение комплексной проблемы эффективного функционирования и развития методологии управления перевозками на МИЛ.

Заключение

Практическая значимость исследования состоит в том, что разработаны мероприятия, позволяющие повысить устойчивость функционирования и развития железнодорожных линий в современных условиях. Разработан механизм интегральной комплексной оценки МИЛ, позволяющий реализовывать корректирующие мероприятия по управлению такими линиями в действующие и планируемые к разработке стратегии развития железнодорожного транспорта на различные горизонты планирования.

Разработана концептуальная модель функционирования линий, основанная на взаимодействии интенсивных, проектируемых и малоинтенсивных линий. Установлено состояние системы на период времени (t) в виде функции и свойств ее элементов.

Предложен механизм оценки затрат и комплексного планируемого эффекта, в котором рассмотрены возможные мероприятия по снижению убыточности и повышению доходности МИЛ в контексте различных железнодорожных служб, обслуживающих такие линии. Разработан комплекс мероприятий, позволяющий получить планируемый эффект при имеющихся финансовых ограничениях. Разработаны оптимистичный, умеренный и пессимистичный варианты развития МИЛ на основе оценки затрат к ожидаемому эффекту с нарастающим итогом при различном уровне финансирования. Представленные механизмы, процедуры и алгоритмы в комплексе позволяют оценить существующее состояние работы МИЛ по набору показателей. ▲

Библиографический список

1. Кириленко О. Н. Экономическая эффективность методов эксплуатации малодеятельных линий / О. Н. Кириленко // Экономика железных дорог. — 2014. — № 8. — С. 79–85.
2. 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: 10.30932/1992-3252-2021-19-4-1.
3. Никитин А. Б. Возможность внедрения цифровой радиосвязи и организации передачи данных между станциями на малодеятельных 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.
4. Frumin D. Branching processes of conservative nested Petri nets / D. Frumin, I. A. Lomazova // VPT 2014. Second International Workshop on Verification and Program Transformation. — 2014. — Vol. 28: EPiC Series. EasyChair. — Pp. 19–35.
5. Chan Y. K. The establishment of an integrated management system paradigm for railway engineering management / Y. K. Chan, P. Gaffney, K. Neailey, W. H. Ip // The TQM Magazine. — 1998. — Vol. 10. — № 6. — Pp. 420–424.
6. 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. — 032008. — DOI: 10.1088/1742-6596/2131/3/032008.
7. Kovalev K. E. Interaction of Intensive and Low-Density Lines: Management Approach and Models / K. E. Kovalev, A. V. Novichikhin; A. Manakov, A. Edigarian (eds) // International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia. — 2021. TransSiberia 2021. Lecture Notes in Networks and Systems. — Vol 402. — Springer, Cham. — URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-96380-4_76.
8. Kovalev K. E. Automation of Management Functions of Operational Personnel of Railway Stations / K. E. Kovalev, O. P. Kizlyak, J. E. Galkina // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2019. — № 8933836. — DOI: 10.1109 / FarEastCon.2019.8933836.
9. Purnell C. J. 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. — № 4. — P. 353. — DOI: 10.1093/rpd/nch035.
10. Fröhling R. D. Wheel/rail interface management in heavy haul railway operations — applying science and technology / R. D. Fröhling // Vehicle System Dynamics. — 2007. — Vol. 45. — № 7–8. — Pp. 649–677.
11. 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. — № 5. — Pp. 807–820.
12. Hiraguri S. Train Control System for Secondary Lines Using Radio Communications in Specific Area / S. Hiraguri, M. Fukuda, H. Fujita, Y. Ono // Quarterly Report of RTRI. — 2012. — Feb. — Pp. 1–6.
13. Sauer C. Gleisstromkreise — ein veraltetes oder aktuelles Mittel zur Gleisfreimeldung / C. Sauer // Eisenbahningenieur. — 2014. — Vol. 65. — № 7. — Pp. 25–30.
14. Shen Q. Intermittent fault's parameter framework and stochastic petri net based formalization model / Q. Shen, J. Qiu, G. Liu, K. Lv // Eksploatacja i Niezawodność — Maintenance and Reliability. — 2016. — Vol. 18. — № 2. — Pp. 210–217. — DOI: 10.17531/ein.2016.2.8.
15. 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.
16. Шорохова А. В. Имитационные модели социально-экологической безопасности горнопромышленных районов / А. В. Шорохова, А. В. Новичихин // Экономика и менеджмент систем управления. — 2016. — № 4. — С. 93–100.
17. Шорохова А. В., Новичихин А. В. Социально-экологическая безопасность горнопромышленных районов: разработка и конкретизация организационно-технологического механизма управления // Экономика и менеджмент систем управления. — 2016. — № 4.1(22) — С. 194–200.
18. Кульба В. В. Управление и контроль реализации социально-экономических программ / В. В. Кульба, С. С. Ковалевский. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. — 400 с.
19. Новиков Д. А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем / Д. А. Новиков. — М.: Фонд «Проблемы управления», 1999. — 150 с.
20. Новиков Д. А. Стимулирование в организационных системах / Д. А. Новиков. — М.: Синтег, 2003. — 312 с.
21. Новиков Д. А. Теория управления организационными системами / Д. А. Новиков. — М.: МПСИ, 2005. — 584 с.

TRANSPORT AUTOMATION RESEARCH, 2022, Vol. 8, No. 2, pp. 150–161
DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-02-150-161

Development of Mechanisms for Increase of Functioning Efficiency of Low-Density Railway Lines

Information about authors

Kovalev K. E., PhD in Technical Sciences, Assistant Professor.

E-mail: kovalev_kostia@mail.ru

Novichikhin A. V., Second Doctorate Degree in Technical Sciences, Professor.

E-mail: novichihin@bk.ru

Medved' O. A., PhD in Technical Sciences, Assistant Professor.

E-mail: oa.medved@yandex.ru

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Department of Logistics and Commercial Work, Saint-Petersburg

Abstract: The problem of effective development of transportation management methodology for low-density railway lines has important social-economic and industrial value for railway transport network functioning, provision of industry requirements and of population in transportations. The article proposes measure complex on the settlement of theoretical task row, directed on functioning efficiency rise of low-density lines and their transition from loss-making category to non-loss-making one as well as the variants of line transmission into profitable ones are worked out. Methodological bases of railway line functioning in the context of transportation management on low-density lines are presented. There is presented the mathematical setting of stable functioning and development of low-density lines. Target function parameters, standards and limitations are established. Integral mechanism of complex assessment of low-density lines is developed which allows to evaluate line work at various stages of functioning and at being embodied managing impacts aimed to traffic intensification. There are worked out the variants of line functioning at interaction of intensive, low-density and being projected lines. Conceptual model of low-density line effective functioning is presented. There is adapted the assessment mechanism for supposed costs and complex planned effect upon embodiment conditions at low-density lines.

Keywords: transportation process management; railway line specialization; low-density lines; integral assessment; railway transport; traffic capacity.

References

- Kirilenko O. N. Ekonomicheskaya effektivnost metodov ekspluatatsii malodeyatelnykh liniy [Economic efficiency of operating methods for low-capacity lines]. *Ekonomika zheleznikh dorog* [Economics of Railways]. 2014, I. 8, pp. 79–85. (In Russian)
- Vakulenko S. P., Kolin A. V., Evreenova N. Yu. Malodeyatelnye linii: sostoyaniye i varianty optimizatsii [Inactive lines: state and optimization options]. *Mir transporta* [World of transport]. 2017, vol. 15, I. 3 (70), pp. 174–180. DOI: doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-1. (In Russian)
- Nikitin A. B., Kushpil I. V. Vozmozhnost vnedreniya tsifrovoy radiosvyazi i organizatsii peredachi dannykh mezhdru stantsiyami na malodeyatelnykh liniyakh [The possibility of introducing digital radio communication and organizing data transmission between stations on low-density lines]. *Avtomatika na transporte* [Automation in transport]. 2019, vol. 5, I. 1, pp. 45–61. DOI: 10.20295/2412-9186-2019-1-45-61. (In Russian)
- Frumin D., Lomazova I. A. Branching processes of conservative nested Petri nets. VPT 2014. Second International Workshop on Verification and Program Transformation. 2014, vol. 28: EPiC Series. EasyChair, pp. 19–35.
- Chan Y. K., Gaffney P., Neailey K., Ip W. H. The establishment of an integrated management system paradigm for railway engineering management. *The TQM Magazine*. 1998, vol. 10, I. 6, pp. 420–424.
- 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, 032008. DOI: 10.1088/1742-6596/2131/3/032008.
- Kovalev K. E., Novichikhin A. V. Interaction of Intensive and Low-Density Lines: Management Approach and Models. In: Manakov A., Edigarian A. (eds) *International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia*. TransSiberia 2021. Lecture Notes in Networks and Systems. 2021, vol. 402. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-96380-4_76
- Kovalev K. E., Kizlyak O. P., Galkina J. E. Automation of Management Functions of Operational Personnel of Railway Stations. *International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2019*, no. 8933836. DOI: 10.1109 / FarEastCon.2019.8933836.
- Purnell C. J., Frommer G., Chan K., Auch A. A. Development and management of a radon assessment strategy suitable for underground railway tunnelling projects. *Radiation Protection Dosimetry*. 2004, vol. 108, I. 4, p. 353. DOI: 10.1093/rpd/nch035.
- Fröhling R. D. Wheel/rail interface management in heavy haul railway operations - applying science and technology. *Vehicle System Dynamics*. 2007, vol. 45, I. 7-8, pp. 649–677.
- Ballis A., Dimitriou L. Issues on railway wagon asset management using advanced information systems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2010, vol. 18, I. 5, pp. 807–820.
- Hiraguri S., Fukuda M., Fujita H., Ono Y. Train Control System for Secondary Lines Using Radio Communications in Specific Area. *Quarterly Report of RTRI*. 2012, February, pp. 1–6.
- Sauer C. Gleisstromkreise – ein veraltetes oder aktuelles Mittel zur Gleisfreimeldung. *Eisenbahningenieur*. 2014, vol. 65, I. 7, pp. 25–30.
- Shen Q., Qiu J., Liu G., Lv K. Intermittent fault's parameter framework and stochastic petri net based formalization model. *Eksploatacja i Niezawodnosc-Maintenance and Reliability*. 2016, vol. 18, I. 2, pp. 210–217. DOI: 10.17531/ein.2016.2.8
- Kovalev K. E., Novichikhin A. V. Kompleksnyy sinergetiko-indikatornyy podkhod k upravleniyu protsessami perevozok na intensivnykh i malodeyatelnykh liniyakh [Integrated synergetic-indicator approach to the management of transportation processes on intensive and low-density lines]. *Avtomatika na transporte* [Automation in transport]. 2021, vol. 7, I. 2, pp. 252–267. DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-2-252-267. (In Russian)
- Shorokhova A. V., Novichikhin A. V. Imitatsionnye modeli sotsialno-ekologicheskoy bezopasnosti gornopromyshlennykh rayonov [Simulation models of social and environmental safety of mining areas]. *Ekonomika i menedzhment sistem upravleniya* [Economics and management of control systems]. 2016, I. 4, pp. 93–100. (In Russian)
- Shorokhova A. V., Novichikhin A. V. Sotsialno-ekologicheskaya bezopasnost gornopromyshlennykh rayonov: razrabotka i konkretizatsiya organizatsionno-tekhnologicheskogo mekhanizma upravleniya [Socio-ecological safety of mining areas: development and concretization of the organizational and technological mechanism of management]. *Ekonomika i menedzhment sistem upravleniya* [Economics and management of control systems]. 2016, I. 4.1 (22), pp. 194–200. (In Russian)
- Kulba V. V., Kovalevskiy S. S. *Upravlenie i kontrol' realizatsii sotsialno-ekonomicheskikh program* [Management and control of the implementation of socio-economic programs]. Moscow: «LIBROKOM» Publ., 2009. 400 p. (In Russian)
- Novikov D. A. *Mekhanizmy funktsionirovaniya mnogourovnevnykh organizatsionnykh sistem* [Functioning mechanisms of multi-level organizational systems]. Moscow: Fond «Problemy upravleniya» Publ., 1999. 150 p. (In Russian)
- Novikov D. A. *Stimulirovaniye v organizatsionnykh sistemakh* [Stimulation in organizational systems]. Moscow: Sinteg Publ., 2003. 312 p. (In Russian)
- Novikov D. A. *Teoriya upravleniya organizatsionnymi sistemami* [Theory of management of organizational systems]. Moscow: MPSI Publ., 2005. 584 p. (In Russian)