

УДК 656.27

Методика повышения эффективности эксплуатации малоинтенсивных железнодорожных линий на основе логистического подхода

К. Е. Ковалев¹, И. Л. Сакович², А. В. Новичихин¹

¹Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

²Октябрьская железная дорога — филиал ОАО «Российские железные дороги», Российская Федерация, 191023, Санкт-Петербург, пл. Островского, 2

Для цитирования: Ковалев К. Е., Сакович И. Л., Новичихин А. В. Методика повышения эффективности эксплуатации малоинтенсивных железнодорожных линий на основе логистического подхода // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2023. — Т. 20. — Вып. 3. — С. 554–567. DOI: 10.20295/1815-588X-2023-3-554-567

Аннотация

Цель: Разработка методики повышения эффективности эксплуатации малоинтенсивных железнодорожных линий на основе использования комплекса инструментов планирования и оптимизации процессов функционирования малоинтенсивных железнодорожных линий. **Методы:** Применены методы анализа и синтеза, линейного и динамического программирования. **Результаты:** Разработана методика повышения эффективности эксплуатации малоинтенсивных железнодорожных линий на основе логистического подхода с оценкой транспортного потенциала линии и моделированием комплекса мероприятий по повышению эффективности их работы. **Практическая значимость:** Разработанная методика рекомендована для использования при составлении планов работы по повышению эффективности эксплуатации малоинтенсивных линий. Методика позволяет определить потенциал малоинтенсивных железнодорожных линий для грузовых и пассажирских перевозок, выбрать оптимальные сценарии функционирования по повышению эффективности работы линий при ограничении бюджета на их реализацию.

Ключевые слова: Железнодорожный транспорт, малоинтенсивные железнодорожные линии, логистический подход, грузопотоки.

Введение

Существующая методика планирования работы малоинтенсивных железнодорожных линий предполагает четыре сценария функционирования, к которым относятся: поиск грузовой базы; передача другим собственникам; закрытие; консервирование.

Анализ опыта функционирования малоинтенсивных железнодорожных линий свидетельствует об убыточности и некупаемости функционирования ряда линий. При этом сценарий поиска грузовой базы реализуется в недостаточ-

ной степени и требует доработки в части поиска скрытого спроса на перевозки по таким линиям и разработки системы скидок на перевозки, способствующие привлечению грузовой базы. Сценарии закрытия и консервирования линий дают экономический эффект на короткий горизонт планирования, а на долгосрочный — приводят к затруднениям в перевозочной деятельности.

Исследование деятельности малоинтенсивных железнодорожных линий имеет несколько актуальных научных аспектов, к которым относятся: высокая значимость в транспортной инфраструк-

туре, особенно в регионах с низким пассажиропотоком и грузопотоком; значимость для устойчивого развития регионов, в которых расположены железнодорожные линии; использование новых экономически выгодных методов обслуживания линий, обеспечивающих безопасность, надежность и эффективность эксплуатации.

Исследование функционирования малоинтенсивных железнодорожных линий способствует разработке новых технологий, методов и подходов к проектированию, строительству и управлению железнодорожными системами.

Таким образом, актуальной научной задачей является разработка методики повышения эффективности эксплуатации малоинтенсивных железнодорожных линий на основе логистического подхода с использованием инструментов планирования.

1. Реализуемая программа повышения эффективности эксплуатации малоинтенсивных железнодорожных линий

Повышение эффективности эксплуатации малоинтенсивных железнодорожных линий (МИЛ) является сложно структурированной задачей. Экономически целесообразно убыточные линии консервировать или закрыть, но они имеют важное социальное и политическое значение.

Планирование работы МИЛ во многом определяется финансовым результатом эксплуатации линии. Под финансовым результатом понимается соотношение затрат на организацию перевозочной деятельности и содержание инфраструктуры к получаемому доходу от перевозочной деятельности.

К основным параметрам, характеризующим финансовый результат линии, относятся размеры грузовых, пассажирских, пригородных поездов, грузонапряженность, количество местных вагонов, количество работников различных служб.

На основе долгосрочных программ развития железнодорожного транспорта [1–3] основным направлением развития для МИЛ является повышение их экономической эффективности эксплуатации, достижение которой обеспечивается за счет комплекса мероприятий по увеличению доходности МИЛ.

Основными этапами существующего подхода к управлению МИЛ являются: 1) типизация линий по условиям работы и выполняемым функциям; 2) группировка линий по принципу финансового результата; 3) разработка предложений и мероприятий по сокращению расходов; 4) разработка мероприятий по увеличению доходов от эксплуатации линий.

Программа повышения эффективности эксплуатации МИЛ включает в себя типизацию линий по назначению и видам сообщения [4]. Структурная схема программы повышения эффективности эксплуатации МИЛ представлена на рис. 1.

В пассажирских перевозках основными статьями дохода являются: 1) организация перевозочного процесса; 2) предоставление услуг инфраструктуры.

По финансовому результату МИЛ можно классифицировать на следующие:

1. Убыточные (не менее 2 лет отрицательный финансовый результат).
2. Переменные показатели прибыли (два смежных календарных периода или в связи с потерей грузопотока или пассажиропотока).
3. Доходные (более 2 лет).

В зависимости от финансового результата для убыточных и линий с переменным показателем прибыли разрабатывается два комплекса мероприятий по повышению их доходности.

Первый комплекс мероприятий ориентирован на увеличение доходности и включает: увеличение грузовой базы с учетом существующих мощностей предприятий [5]; увеличение грузовой

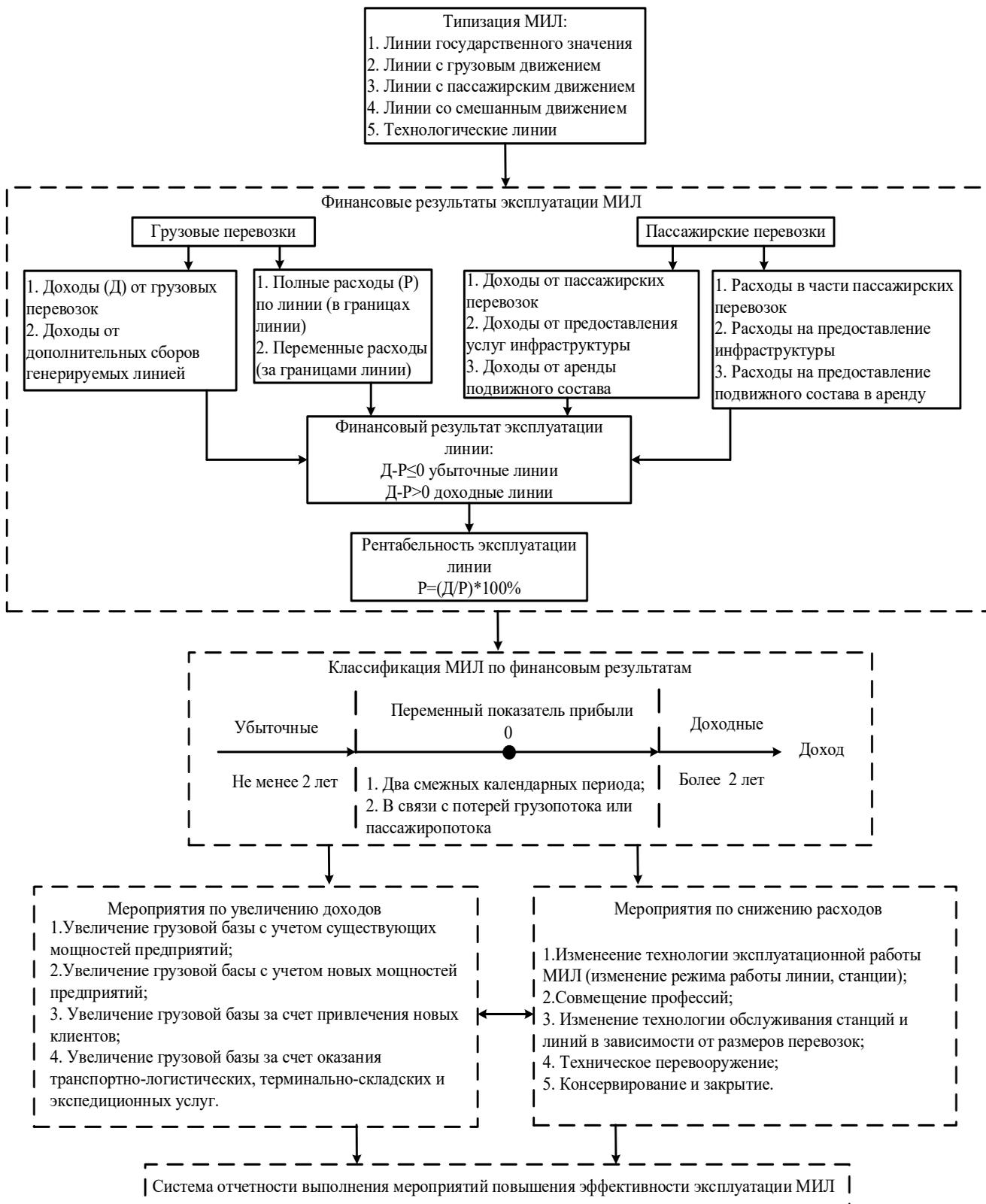


Рис. 1. Структурная схема реализуемой программы повышения эффективности эксплуатации МИЛ на сети ОАО «РЖД» в современных условиях

базы с учетом новых мощностей предприятий [6]; увеличение грузовой базы за счет привлечения новых клиентов; увеличение грузовой базы за счет оказания транспортно-логистических, терминально-складских и экспедиционных услуг.

Второй комплекс мероприятий направлен на снижение расходов: изменение технологии эксплуатационной работы МИЛ (изменение режима работы линии, станции) [7]; совмещение профессий [8]; изменение технологии обслуживания станций и линий в зависимости от размеров перевозок; техническое перевооружение [9, 10]; консервирование и закрытие участков МИЛ.

Финансовый результат эксплуатации МИЛ характеризуется грузовыми и пассажирскими перевозками, в которых выделены статьи доходов и расходов. В грузовых перевозках выделены доходы, получаемые на основании тарифов и дополнительных сборов [11]. Расходы линии делятся на полные (в границах линии) и переменные (за границами линии). Техничко-экономическое обоснование первого и второго комплексов мероприятий позволяет оценить финансовые результаты линии для дальнейшей корректировки мероприятий.

Несмотря на то, что реализуемая программа повышения эффективности эксплуатации МИЛ имеет преимущества перед предшествующими и эффективна, она имеет ряд недостатков, к которым относятся: 1) значительные финансовые вложения в поддержание и обновление инфраструктуры, техническое оснащение и обучение персонала; 2) сложность оценки эффективности реализуемой программы; 3) наличие противоречивых приоритетов у структурных подразделений, обслуживающих линию; 4) ограниченность в ресурсах; 5) отсутствие логистического подхода к эксплуатации МИЛ, основанного на базах данных ГИС для анализа пространственной структуры потоков и определения оптимальных маршрутов для перенаправления грузов и пассажиров [12].

Указанные недостатки также определяют актуальность разработки методики повышения эффективности эксплуатации МИЛ на основе логистического подхода.

2. Логистический подход к повышению эффективности эксплуатации МИЛ

Логистический подход основан на формировании системы управления МИЛ, включающей в себя комплекс механизмов диагностики, планирования, стимулирования и контроля. Механизмы управления формируются на основе принципов, процедур и моделей, позволяющих вырабатывать оптимизационные управляющие решения для повышения эффективности функционирования МИЛ.

Предлагаемый логистический подход к повышению эффективности эксплуатации МИЛ основан на данных об имеющихся параметрах МИЛ, к которым относятся: эксплуатационная длина, система СЦБ, размеры движения, грузонапряженность, количество вагонов под грузовыми операциями, количество пассажиров, количество работников по службам, расходы по службам и другие параметры.

Перечисленные параметры являются исходными данными для процедуры диагностики функционирования МИЛ. На основе результатов диагностики [13–15] формируются целевые показатели на предстоящий период работы МИЛ, к которым относятся финансовый результат эксплуатации и оценка значимости транспортного потенциала МИЛ, формируемая на основании матрицы существующих и перспективных пассажиропотоков и грузопотоков.

Оценка значимости транспортного потенциала позволяет наиболее точно осуществлять среднесрочное планирование параметров функционирования МИЛ и дать оценку возможности выполнения показателей на плановый период.

При необходимости корректировки целевых показателей работы МИЛ применяется модель-

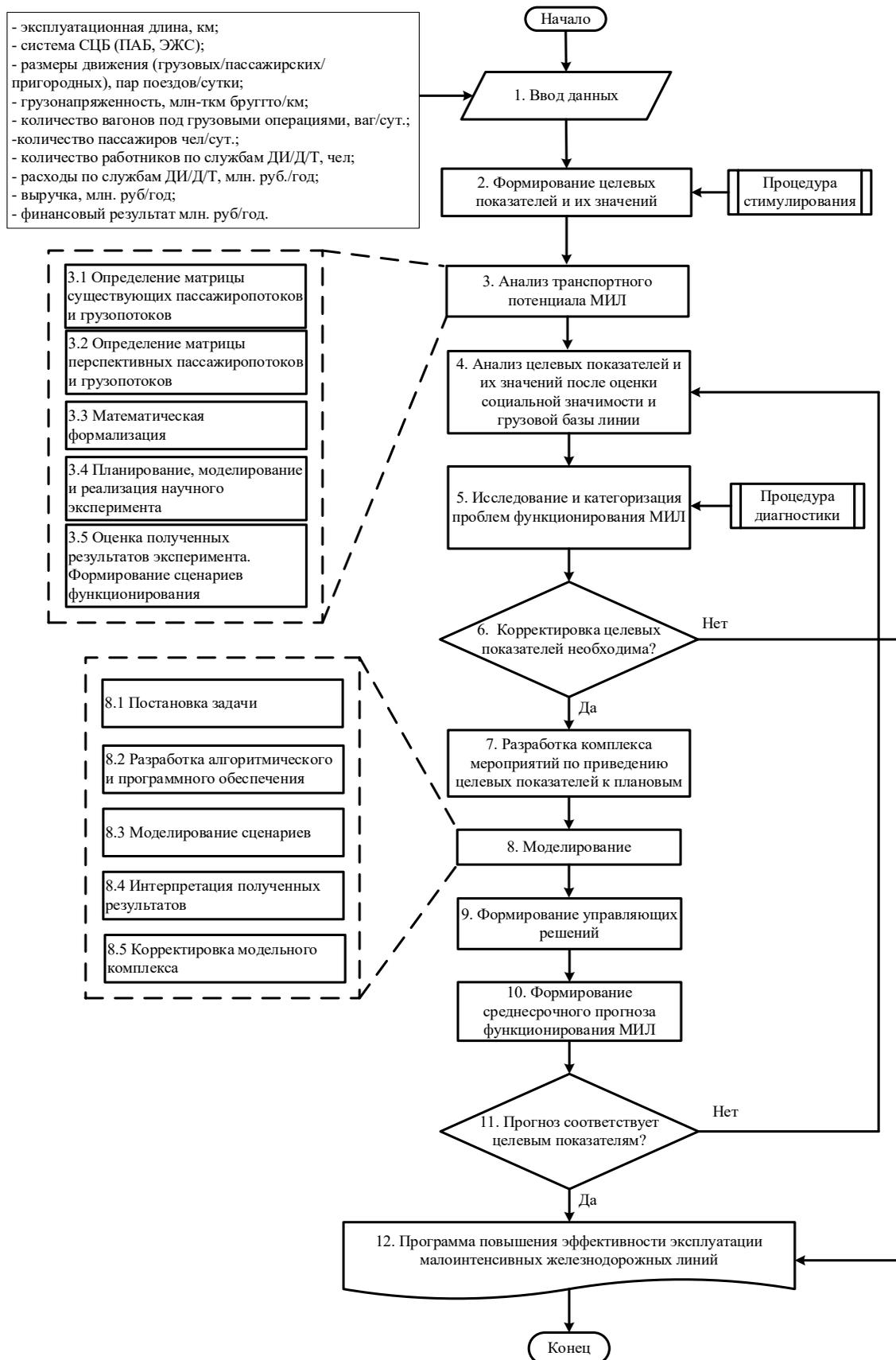


Рис. 2. Процедура планирования работы МИЛ на основе логистического подхода

ный комплекс для анализа реализации возможных сценариев и формирования программы повышения эффективности функционирования МИЛ. Предлагаемая методика реализуется на основе процедуры планирования работы МИЛ (рис. 2).

3. Анализ транспортного потенциала МИЛ

Важным элементом предлагаемой методики является оценка транспортного потенциала МИЛ, которая позволяет определить степень существующей и перспективной востребованности линии.

Рассмотрим реализацию блока на примере. Пусть имеется убыточная МИЛ на участке А — Б (рис. 3), на которой размеры движения не более 8 пар поездов в сутки. При этом имеются пункты (Π_i) на удалении от МИЛ, в которых есть перспективный грузопоток или пассажиропоток.

Необходимо определить такие населенные пункты Π_r , с которыми целесообразно наладить железнодорожное сообщение в части увеличения грузовой базы с учетом существующих и новых мощностей предприятий, привлечения новых клиентов или оказания транспортно-логистических, терминально-складских или экспедиционных услуг. При этом имеется ряд накладываемых ограничений, к которым относятся ограниченный размер финансирования, фиксированные размеры расходных ставок и тарифов.

Задача оценки транспортного потенциала МИЛ формализована с помощью метода линей-

ного программирования, который заключается в минимизации линейной функции от нескольких переменных, при условии, что эти переменные удовлетворяют ограничениям. Определяется вектор значений переменных, который оптимизирует целевую функцию и при этом удовлетворяет всем ограничениям.

К недостаткам математического метода линейного программирования, применяемого в существующих условиях, относятся: применение только для линейных задач оптимизации, что ограничивает его применимость в тех случаях, когда нелинейные или дискретные факторы также влияют на оптимальное решение; трудоемкость решения при большом количестве переменных; высокая чувствительность модели к входным данным; трудоемкость интерпретации и достоверности полученных результатов.

В связи с перечисленными недостатками данный метод применяется для среднесрочного (3–5 лет) и краткосрочного (1 год) горизонта планирования мероприятий повышения эффективности эксплуатации работы МИЛ. Рядом с МИЛ имеются населенные пункты Π_r , имеющие расчетные пассажиропотоки и грузопотоки, приведенные в табл. 1, 2.

Также известно расстояние Π_i от МИЛ (табл. 3) и расстояния между населенными пунктами по железной дороге (табл. 4).



Рис. 3. Существующий участок МИЛ (А — Б) и перспективные направления с грузовой и пассажирской базой

ТАБЛИЦА 1. Грузопотоки между населенными пунктами, тыс. т/год

Населенные пункты	А	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	Б
А	0	0,2	0,2	6	0	0	1	6	1	1
П1	1	0	0,7	2	2	3	0,5	11	12	3
П2	0,6	0,7	0	2	5	0	4	0,4	1	0
П3	7	0,2	0,11	0	0,22	3	0	1	3	0
П4	2	0,2	0,5	12	0	1	0	5	0	0
П5	3	0,7	0,18	2	0,11	0	0	13	0	6
П6	4	0,6	0,20	0	0	11	0	3	4	7
П7	2	0,7	0,17	6	0,14	3	0	0	2	6
П8	8	0,9	0,18	7	3	5	0	3	0	4
Б	2	0,7	0,3	5	6	6	5	0	1	0

ТАБЛИЦА 2. Пассажиропотоки между населенными пунктами, тыс. пасс/год

Населенные пункты	А	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	Б
А	0	1	1	0	0	0,4	0,6	2	6	1
П1	0	0	3	17	12	7	1	12	2	0,4
П2	0,6	1	0	1	4	1	4	5	13	0,2
П3	0	7	0	0	8	6	1	22	0	0,4
П4	0,6	9	5	2	0	2	5	5	2	0,2
П5	0	6	2	12	11	0	3	3	1	0,4
П6	2	7	4	0	11	3	0	12	1	2
П7	0,2	2	9	1	4	1	12	0	3	0,4
П8	0,5	3	2	13	5	12	4	0	0	1
Б	0,5	0	0	1	0,6	0,2	0,8	2	3	0

ТАБЛИЦА 3. Удаленность населенных пунктов P_i от МИЛ, км

Населенные пункты	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8
Расстояние, км	50	12	17	22	13	42	18	4

ТАБЛИЦА 4. Расстояния между населенными пунктами P_p , км

Населенные пункты	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8
Расстояние, км	17	22	37	40	43	53	68	74

Постановка задачи

Пусть необходимо определить такие возможные населенные пункты x_{1z} , имеющие транспортную связь x_{2z} , места зарождения грузопотоков и заявки на перевозки x_{3g} и пассажиропотоки x_{4p} , при установленной ставке формирования пассажирского x_{5cgp} и грузового x_{6cpp} поезда и стоимости содержания инфраструктуры $x_{7T.RK}$, с которыми целесо-

образно организовать железнодорожное сообщение $f(x)$, при этом населенные пункты расположены на расстоянии l от существующей МИЛ.

Целевая функция имеет вид (1):

$$f(x) = f(x_{1z} + x_{2z} + x_{3g} + x_{4p} + x_{5cgp} + x_{6cpp} + x_{7(-T.RK)}) \rightarrow \min. \quad (1)$$

При системе ограничений:

$$\begin{cases} pp \leq 16; \\ gp \leq 16; \\ g \leq G; \\ p \leq P; \\ z \leq 1. \end{cases}$$

$$\begin{cases} Z(i, j) + Z(j, i) - z(i) - z(j) = 0; \\ Z(i, j) - Z(j, i) = 0. \end{cases}$$

$$\begin{cases} g - gp \cdot gpMax \leq 0; \\ p - pp \cdot ppMax \leq 0; \\ g(i, j) - Z(i, j) \cdot G(i, j) \leq 0; \\ p(i, j) - Z(i, j) \cdot P(i, j) \leq 0. \end{cases}$$

где x_{1z} — населенные пункты;
 x_{2z} — транспортные связи;
 x_{3g} — грузопотоки;
 x_{4p} — пассажиропотоки;
 x_{5cgp} — средняя тарифная ставка формирования пассажирского поезда;
 x_{6cpp} — средняя тарифная ставка формирования грузового поезда;
 $x_{7(-T.RK)}$ — затраты на содержание инфраструктуры;
 pp — количество пассажирских поездов;
 gp — количество грузовых поездов;
 G — спрос на грузовые перевозки;
 P — спрос на пассажирские перевозки;
 $gpMax$ — максимальная реализуемая пропускная способность в грузовом движении;
 $ppMax$ — максимальная реализуемая пропускная способность в пассажирском сообщении.
 Формализация решаемой задачи со стороны перевозчика состоит в том, что количество грузовых (gp) и пассажирских (pp) поездов не превышает установленных размеров на МИЛ (не более 8 пар поездов в сутки). Грузопоток и пассажиропоток не превышает или равен спросу на пассажирские (P) и грузовые (G) перевозки. Максимальная пропускная способность участка

для грузовых ($gpMax$) и пассажирских поездов ($ppMax$) больше нуля. Грузопоток g и пассажиропоток p между пунктами больше или равен нулю.

Стоимость организации железнодорожного сообщения при увеличении грузовой базы с учетом существующих и новых мощностей предприятий, за счет привлечения новых клиентов или за счет оказания транспортно-логистических, терминально-складских и экспедиционных услуг, состоит из суммы стоимости строительства ответвления RS и содержания ответвления Π , железной дороги RL с учетом горизонта планирования T . Доход от грузопотока g равен тарифной стоимости перевозки одной тонны грузов CGL . Доход от пассажиропотока p равен тарифной стоимости перевозки одного пассажира CPL .

Поставленная задача решена с использованием пакета визуального блочного имитационного моделирования MATLAB Simulink 7 матричной системы MATLAB R2021a (рис. 4).

При заданных параметрах целевой функции и ограничениях установлено, что при наличии грузопотока в населенный пункт П6 в размере 4000 тонн в год и пассажиропотока 3000 пассажиров/год, на расстоянии до МИЛ 42 километра, целесообразно проводить работу по увеличению грузовой базы. Результаты вычислений приведены в табл. 5, в тех случаях, когда $f(x_{opt}) > 0$, целесообразно организовать перевозочный процесс, если $f(x_{opt}) < 0$, то организовывать перевозочный процесс нецелесообразно.

Анализ транспортного потенциала МИЛ позволяет выявлять перспективные населенные пункты, с которыми целесообразно организовать железнодорожное сообщение с учетом существующих и новых мощностей предприятий, оказания транспортно-логистических, терминально-складских или экспедиционных услуг. Проведение анализа транспортного потенциала целесообразно проводить регулярно при формировании системы отчетности реализуемых мероприятий по повышению

```

189     %g(i,j) - Z(i,j)*G(i,j) <= 0
190     cnt = 3;
191     for i = 1:8
192         for j = 1:8
193             if (i ~= j)
194                 g = zeros(8,8);
195                 Z = zeros(8,8);
196                 g(i,j) = 1;
197                 Z(i,j) = -T*G(i,j);
198                 A(cnt,:) = [zeros(1,8), Z(:)'; g(:)', zeros(1,64), 0, 0, 0];
199                 cnt = cnt + 1;
200             end
201         end
202     end
203
204     %p(i,j) - Z(i,j)*P(i,j) <= 0
205     for i = 1:8
206         for j = 1:8
207             if (i ~= j)
208                 p = zeros(8,8);
209                 Z = zeros(8,8);
210                 p(i,j) = 1;
211                 Z(i,j) = -T*P(i,j);
212                 A(cnt,:) = [zeros(1,8), Z(:)'; zeros(1,64), p(:)', 0, 0, 0];
213                 cnt = cnt + 1;
214             end
215         end
216     end

```

Рис. 4. Фрагмент программного кода модели, разработанной в MATLAB Simulink 7

эффективности эксплуатации МИЛ для формирования встречных предложений по организации перевозочного процесса с грузовладельцами.

4. Моделирование комплекса мероприятий по повышению доходности МИЛ

Одним из блоков предлагаемой методики планирования функционирования МИЛ на основе логистического подхода (рис. 2) является моделирование комплекса мероприятий по повышению доходности МИЛ при имеющемся ограничении бюджета.

Пусть имеется N возможных мероприятий по повышению доходов МИЛ и снижению эксплуатационных расходов. Имеется ограниченный бюджет W на реализацию комплекса мероприятий. Набор положительных эффектов

$w = \{w_1, w_2 \dots w_N\}$, соответствующий выбранным мероприятиям из комплекса, и затраты на реализацию каждого мероприятия $p = \{p_1, p_2 \dots p_N\}$ были определены с помощью экспертных оценок. Требуется найти набор величин $B = \{b_1, b_2 \dots b_N\}$, где $b_i = 1$ — если мероприятие n_i включено в набор, $b_i = 0$ — если мероприятие n_i не включено. Целевая функция имеет вид:

$$b_1 p_1 + \dots + b_N p_N \rightarrow \max. \quad (2)$$

При этом имеется ограничение:

$$b_1 w_1 + \dots + b_N w_N \leq W.$$

Исходные данные для вычислений представлены в табл. 6.

Производится условная оптимизация без ограничений на количество выбранных мероприятий:

$$f_1(L) = \max(0, 5x_1); 0 < x_1 < 1;$$

$$f_2(L) = \max[0, 2x_2 + f_1(L - 0,1x_2)];$$

$$0 < x_2 < 1;$$

$$f_3(L) = \max[0, 45x_3 + f_2(L - 0,12x_3)];$$

$$0 < x_3 < 1;$$

$$f_4(L) = \max[0, 52x_4 + f_3(L - 0,12x_4)];$$

$$0 < x_4 < 1;$$

$$f_5(L) = \max[0, 7x_5 + f_4(L - 0,18x_5)];$$

$$0 < x_5 < 1;$$

$$f_6(L) = \max[0, x_6 + f_5(L - 0,05x_6)];$$

$$0 < x_6 < 1;$$

$$f_7(L) = \max[0, 1x_7 + f_6(L - 0,05x_7)];$$

$$0 < x_7 < 1;$$

$$f_8(L) = \max[0, 45x_8 + f_7(L - 0,12x_8)];$$

$$0 < x_8 < 1;$$

$$f_9(L) = \max[0, 3x_9 + f_8(L - 0,1x_9)];$$

$$0 < x_9 < 1.$$

ТАБЛИЦА 5. Полученные результаты вычислений $f(x_{opt})$

Пункты Π_i	$f(x_{opt})$	Результат
П1	0	Нецелесообразно привлечение грузопотока и пассажиропотока
П2	0	Нецелесообразно привлечение грузопотока и пассажиропотока
П3	0	Нецелесообразно привлечение грузопотока и пассажиропотока
П4	0	Нецелесообразно привлечение грузопотока и пассажиропотока
П5	0	Нецелесообразно привлечение грузопотока и пассажиропотока
П6	1	Целесообразно привлечение грузопотока и пассажиропотока
П7	0	Нецелесообразно привлечение грузопотока и пассажиропотока
П8	0	Нецелесообразно привлечение грузопотока и пассажиропотока

ТАБЛИЦА 6. Комплекс мероприятий по повышению эффективности эксплуатации МИЛ

Мероприятия (N)	Затраты (p)	Ожидаемый мультипликативный эффект (w)	Количество проводимых мероприятий на участке
Увеличение доходности			
1. Увеличение грузовой базы с учетом существующих мощностей предприятий	0,5	0,16	1
2. Увеличение грузовой базы с учетом новых мощностей предприятий	0,2	0,1	1
3. Увеличение грузовой базы за счет привлечения новых клиентов	0,45	0,12	1
4. Увеличение грузовой базы за счет оказания транспортно-логистических, терминально-складских и экспедиционных услуг	0,52	0,12	1
Снижение расходов			
1. Изменение технологии эксплуатационной работы МИЛ (изменение режима работы линии, станции)	0,7	0,18	1
2. Совмещение профессий	0,1	0,05	1
3. Изменение технологии обслуживания станций и линий в зависимости от размеров перевозок	0,1	0,05	1
4. Техническое перевооружение	0,45	0,12	1
5. RFID-навигации для управления движением поездов	0,3	0,10	1

ТАБЛИЦА 7. Расчет значения функции $f_9(L)$

L	0	1	2
$f_9(L)$	0	0,7	1,22
x_1	0	0	0

Фрагмент вычислений значения функции для $f_9(L)$ представлен в табл. 7.

Установлено, что максимальный размер требуемых инвестиций $f_9(L) = 1,22$, при этом $x_1 = 0$. Из набора полученных решений исключаются решения, не удовлетворяющие ограничениям (размер финансирования). Реализация остальных мероприятий распределена следующим образом:

$$N = 2 - 0,1 \cdot 0 = 2;$$

$$f_8(2) = 1,22 \text{ достигается при } x_8 = 0;$$

$$N = 2 - 0,12 \cdot 0 = 2;$$

$$f_7(2) = 1,22 \text{ достигается при } x_7 = 0;$$

$$N = 2 - 0,05 \cdot 0 = 2;$$

$$f_6(2) = 1,22 \text{ достигается при } x_6 = 0;$$

$$N = 2 - 0,05 \cdot 0 = 2;$$

$$f_5(2) = 1,22 \text{ достигается при } x_5 = 1;$$

$$N = 2 - 0,18 \cdot 1 = 1,82;$$

$$f_4(1,82) = 0,52 \text{ достигается при } x_4 = 1;$$

$$N = 1,82 - 0,12 \cdot 1 = 1,7;$$

$$f_3(1,7) = 0,5 \text{ достигается при } x_3 = 0;$$

$$N = 1,7 - 0,12 \cdot 0 = 1,7;$$

$$f_2(1,7) = 0,5 \text{ достигается при } x_2 = 0;$$

$$N = 1,7 - 0,1 \cdot 0 = 1,7;$$

$$f_1(1,7) = 0,5 \text{ достигается при } x_1 = 1.$$

При имеющемся ограничении бюджета оптимальным вариантом, по набору критериев, реализации комплекса мероприятий по повышению доходности и снижению эксплуатационных расходов МИЛ достигается при значениях: $x_1 = 1, x_2 = 0, x_3 = 0, x_4 = 1, x_5 = 1, x_6 = 0, x_7 = 0, x_8 = 1, x_9 = 1$.

На основе результатов моделирования целесообразна реализация мероприятий увеличения грузовой базы с учетом существующих мощно-

стей предприятий ($x_1 = 1$), увеличение грузовой базы за счет оказания транспортно-логистических, терминально-складских и экспедиционных услуг ($x_4 = 1$), изменение технологии эксплуатационной работы МИЛ, изменение режима работы линии, станции ($x_5 = 1$), техническое перевооружение ($x_8 = 1$), RFID-навигации для управления движением поездов ($x_9 = 1$).

Разработанная модель по повышению доходности МИЛ позволяет формировать комплекс мероприятий, который при ограничении бюджета максимизирует финансовый результат от их реализации.

Заключение

Проведен анализ реализуемой программы повышения эффективности эксплуатации МИЛ, представлена ее структура, выявлены достоинства и недостатки.

Предложена методика повышения эффективности эксплуатации МИЛ на основе логистического подхода. Логистический подход состоит в формировании системы управления МИЛ, включающей в себя комплекс механизмов диагностики, планирования, стимулирования и контроля.

Разработана процедура планирования работы МИЛ, состоящая из инструментов анализа транспортного потенциала линии и моделирования комплекса мероприятий по повышению доходности. Анализ транспортного потенциала линии заключается в определении пунктов, с которыми целесообразно организовать транспортный процесс в части увеличения грузовой базы с учетом существующих и новых мощностей предприятий, привлечения новых клиентов или оказания транспортно-логистических, терминально-складских или экспедиционных услуг.

Комплексное применение методики повышения эффективности эксплуатации МИЛ позволит существенно улучшить финансовый результат функционирования МИЛ.

Библиографический список

1. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года. — Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р. — 86 с.

2. Программа инновационного развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 года. — Утверждена советом директоров ОАО «РЖД» (протокол № 13 от 24 июня 2011 г.). — М., 2011. — 63 с.

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

4. Долгосрочная программа развития открытого акционерного общества «Российские железные дороги» до 2025 года распоряжением Правительства Российской Федерации от 19 марта 2019 г. № 466-р. — 74 с.

5. Прошкина Е. С. Модернизация малодеятельных железнодорожных линий России и повышение эффективности их использования в пассажирском сообщении: дис. ... канд. экон. наук / Е. С. Прошкина. — М., 2008 — 160 с.

6. Вакуленко С. П. Эффективность эксплуатации и обслуживания малоинтенсивных железнодорожных линий / С. П. Вакуленко, А. В. Колин, Н. Ю. Евреенова и др. — М., 2018. — 218 с.

7. Кириленко О. Н. Экономическая эффективность методов эксплуатации малодеятельных линий / О. Н. Кириленко // Экономика железных дорог. — 2014. — № 8. — С. 79–85.

8. Кокурин И. М. Выбор варианта распределения функций и зон управления между оперативным персоналом технических станций на основе оценки по разнонаправленным критериям / И. М. Кокурин, К. Е. Ковалев // Вестник транспорта Поволжья. — 2015. — № 2(50). — С. 55–64.

9. Вакуленко С. П. Малодеятельные линии: состояние и варианты оптимизации / С. П. Вакуленко, А. В. Колин, Н. Ю. Евреенова // Мир транспорта. — 2017. — Т. 15. — № 3(70). — С. 174–180. — DOI: 10.30932/1992-3252-2021-19-4-1.

10. 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.

11. Прейскурант № 10-01. Тарифы на перевозку грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые российскими железными дорогами (утв. постановлением ФЭК РФ от 17 июня 2003 г. № 47-т/5). — 463 с.

12. Кычкин А. В. Программно-аппаратный комплекс для энергомониторинга с применением ГИС-технологий / А. В. Кычкин, С. А. Артемов // Фундаментальные исследования. — 2015. — № 8-1. — С. 120–125.

13. Ковалев К. Е. Механизм диагностики эксплуатации малоинтенсивных железнодорожных линий на основе нечеткого когнитивного моделирования / К. Е. Ковалев, А. В. Новичихин, И. Л. Сакович // Автоматика на транспорте. — 2023. — Т. 9. — № 1. — С. 72–86.

14. Ковалев К.Е., Новичихин А.В., Медведь О.А. 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.

15. Kovalev K., Novichikhin A. Interaction of intensive and low-density lines: management approach and models / K. Kovalev, A. Novichikhin // Lecture Notes in Networks and Systems. — 2022. — Vol. 402 LNNS. — Pp. 701–709. — DOI: 10.1007/978-3-030-96380-4_76.

Дата поступления: 01.08.2023

Решение о публикации: 24.08.2023

Контактная информация:

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

САКОВИЧ Игорь Леонтьевич — канд. экон. наук;
logist@pgups.ru

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

Methodology for Improving the Efficiency of Operation of Low-Intensity Railway Lines Based on a Logistic Approach

K. E. Kovalev¹, I. L. Sakovich², A. V. Novichikhin¹

¹Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

²Oktyabrskaya Railway — a branch of JSC “Russian Railways”, 2, Ostrovsky Sq., Saint Petersburg, 191023, Russian Federation

For citation: Kovalev K. E., Sakovich I. L., Novichikhin A. V. Methodology for Improving the Efficiency of Operation of Low-Intensity Railway Lines Based on a Logistic Approach // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2023, vol. 20, iss. 3, pp. 554–567. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2023-3-554-567

Summary

Purpose: It consists in developing a methodology for improving the efficiency of operation of low-intensity railway lines based on the use of a set of planning and optimization tools for the functioning of low-intensity railway lines. **Methods:** Methods of analysis and synthesis, linear and dynamic programming have been applied. **Results:** A methodology has been developed to improve the efficiency of operation of low-intensity railway lines based on a logistic approach with an assessment of the transport potential of the line and modeling a set of measures to improve the efficiency of their work. **Practical significance:** The developed methodology is recommended for use in the preparation of work plans to improve the efficiency of operation of low-intensity lines. The methodology makes it possible to determine the potential of low-intensity railway lines for freight and passenger traffic, to select optimal operating scenarios to improve the efficiency of the lines while limiting the budget for their implementation.

Keywords: Railway transport, low-intensity railway lines, logistics approach, cargo flows.

References

1. *Strategiya razvitiya zhelezнодорожного транспорта v Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda. Utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 17 iyunya 2008 g. № 877-r* [Strategy for the development of railway transport in the Russian Federation until 2030. Approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated June 17, 2008 № 877-r]. 86 p. (In Russian)

2. *Programma innovatsionnogo razvitiya OAO “Rossiyskie zheleznye dorogi” na period do 2015 goda. Utverzhdena sovetom direktorov OAO “RZhD” (protokol № 13 ot 24 iyunya 2011 g.)* [Innovative development program of JSC Russian Railways for the period up to 2015 Approved by the Board of Directors of JSC Russian Railways (Minutes № 13 dated June 24, 2011)]. Moscow, 2011, 63 p. (In Russian)

3. *Rasporyazhenie OAO “RZhD” ot 13 yanvarya 2020 g. № 28/r “Ob utverzhenii Metodiki klassifikatsii i*

spetsializatsii zhelezнодорожных liniy OAO “RZhD” [Order of Russian Railways dated January 13, 2020 № 28/r “On Approval of the Methodology for Classification and Specialization of Railway Lines of Russian Railways”]. Moscow, 8 p. (In Russian)

4. *Dolgosrochnaya programma razvitiya otkrytogo aktsionernogo obshchestva “Rossiyskie zheleznye dorogi” do 2025 goda rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 19 marta 2019 g. № 466-r* [Long-term development program of the open joint-stock company “Russian Railways” until 2025 by order of the Government of the Russian Federation dated March 19, 2019 № 466-r]. 74 p. (In Russian)

5. Proshkina E. S. *Modernizatsiya malodeyatel'nykh zhelezнодорожных liniy Rossii i povyshenie effektivnosti ikh ispol'zovaniya v passazhirskom soobshchenii: dis. ... kand. ekon. nauk* [Modernization of low-density railway lines

in Russia and increasing the efficiency of their use in passenger traffic: dis. ... cand. economy Sciences]. Moscow, 2008, 160 p. (In Russian)

6. Vakulenko S. P., Kolin A. V., Evreenova N. Yu. et al. *Effektivnost' ekspluatatsii i obsluzhivaniya malointensivnykh zheleznodorozhnykh liniy* [Efficiency of operation and maintenance of low-intensity railway lines]. Moscow, 2018, 218 p. (In Russian)

7. Kirilenko O. N. *Ekonomicheskaya effektivnost' metodov ekspluatatsii malodeyatel'nykh liniy* [Economic efficiency of operating methods for low-capacity lines]. *Ekonomika zheleznykh dorog* [Economics of Railways]. 2014, Iss. 8, pp. 79–85. (In Russian)

8. Kokurin I. M., Kovalev K. E. *Vybor varianta raspredeleniya funktsiy i zon upravleniya mezhdru operativnym personalom tekhnicheskikh stantsiy na osnove otsenki po raznonapravlenym kriteriyam* [Choice of the variant of distribution of functions and control zones between the operational personnel of technical stations based on assessment by multidirectional criteria]. *Vestnik transporta Povolzh'ya* [Bulletin of Transport of the Volga Region]. 2015, Iss. 2(50), pp. 55–64. (In Russian)

9. Vakulenko S. P., Kolin A. V., Evreenova N. Yu. *Malodeyatel'nye linii: sostoyanie i varianty optimizatsii* [Inactive lines: state and optimization options]. *Mir transporta* [World of transport]. 2017, vol. 15, Iss. 3(70), pp. 174–180. DOI: 10.30932/1992-3252-2021-19-4-1. (In Russian)

10. Nikitin A. B., Kushpil I. V. *Vozmozhnost' vnedreniya tsifrovoy radiosvyazi i organizatsii peredachi dannykh mezhdru stantsiyami na malodeyatel'nykh liniyakh* [The possibility of introducing digital radio communication and organizing data transmission between stations on low-density lines]. *Avtomatika na transporte* [Transport automation research]. 2019, vol. 5, Iss. 1, pp. 45–61. DOI: 10.20295/2412-9186-2019-1-45-61. (In Russian)

11. *Preyskurant № 10-01. Tarify na perevozku gruzov i uslugi infrastruktury, vypolnyaemye rossiyskimi zheleznymi dorogami (utv. postanovleniem FEK RF ot 17 iyunya 2003*

g. № 47-t/5) [Price list № 10-01. Tariffs for the transportation of goods and infrastructure services performed by Russian railways (approved by the Decree of the FEC of the Russian Federation of June 17, 2003 № 47-t/5)]. 463 p. (In Russian)

12. Kychkin A. V., Artemov S. A. *Programmno-apparatnyy kompleks dlya energomonitoringa s primeneniem GIS-tekhnologiy* [Hardware-software complex for energy monitoring using GIS technologies]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research]. 2015, Iss. 8-1, pp. 120–125. (In Russian)

13. Kovalev K. E., Novichikhin A. V., Sakovich I. L. et al. *Mekhanizm diagnostiki ekspluatatsii malointensivnykh zheleznodorozhnykh liniy na osnove nechetkogo kognitivnogo modelirovaniya* [Mechanism for diagnosing the operation of low-intensity railway lines based on fuzzy cognitive modeling]. *Avtomatika na transporte* [Transport automation research]. 2023, vol. 9, Iss. 1, pp. 72–86. (In Russian)

14. Kovalev K. E., Novichikhin A. V., Medved' O. A. *Razrabotka mekhanizmov povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya malointensivnykh zheleznodorozhnykh liniy* [Development of mechanisms for improving the efficiency of low-intensity railway lines]. *Avtomatika na transporte* [Transport automation research]. 2022, vol. 8, Iss. 2, pp. 150–161. (In Russian)

15. Kovalev K., Novichikhin A. *Interaction of intensive and low-density lines: management approach and models. Lecture Notes in Networks and Systems. 2022, vol. 402 LNNS, pp. 701–709. DOI: 10.1007/978-3-030-96380-4_76.*

Received: August 01, 2023

Accepted: August 24, 2023

Author's information:

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

Igor L. SAKOVICH — PhD in Economics; logist@pgups.ru

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