

УДК 656.27

К совершенствованию технологии планирования транспортных процессов взаимодействия железнодорожных линий различных категорий

К. Е. Ковалев, А. В. Новичихин

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

Для цитирования: Ковалев К. Е., Новичихин А. В. К совершенствованию технологии планирования транспортных процессов взаимодействия железнодорожных линий различных категорий // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2024. Т. 21, вып. 3. С. 718–728. DOI: 10.20295/1815-588X-2024-03-718-728

Аннотация

Цель: повышение эффективности функционирования транспортной сети на основе разработанной сбалансированной системы показателей взаимодействия железнодорожных линий различных категорий. **Методы:** применены методы теории управления, системного анализа, синтеза и математического моделирования, теории транспортных процессов и систем, планирования на транспорте. **Результаты:** обоснован набор показателей, влияющих на взаимодействие железнодорожных линий различных категорий, на основе сбалансированной системы показателей, позволяющей выработать корректирующие мероприятия по оптимизации перевозочного процесса. **Практическая значимость:** реализация предлагаемых решений обеспечивает конкретизацию программы повышения эффективности эксплуатации малоинтенсивных железнодорожных линий общего пользования и корректировку плановых перевозок по данным линиям.

Ключевые слова: малоинтенсивные железнодорожные линии, сбалансированная система показателей, гибкое управление, планирование транспортных процессов

Введение

Малоинтенсивные железнодорожные линии (МИЛ), как правило, обслуживают отдаленные и малонаселенные районы, соединяя их с крупными транспортными узлами. МИЛ сталкиваются с проблемами низкой доходности, недостаточной пропускной способности и ограниченных инвестиций [1–4]. Одним из результативных решений для повышения эффективности работы и увеличения доходов МИЛ являются разработка и внедрение сбалансированной системы показателей взаимодействия с линиями других категорий. Такая система позволит не только оценить текущее состояние и выявить слабые места,

но и определить приоритетные направления для совершенствования и модернизации с учетом эксплуатационных, финансовых, экологических и социальных аспектов для обеспечения комплексного развития железнодорожной сети.

В данной статье рассматривается процесс разработки сбалансированной системы показателей взаимодействия железнодорожных линий, включая эксплуатационные, финансовые и социальные характеристики. Предлагаемые меры направлены на повышение эффективности работы и доходов МИЛ, что способствует синергетическому

и устойчивому развитию эксплуатации железнодорожной инфраструктуры.

Разработка инструментария взаимодействия железнодорожных линий различных категорий

Разработка инструментария гибкого управления процессом взаимодействия МИЛ с линиями других категорий [5, 6] является сложной задачей, требующей учета различных факторов, таких как объемы перевозок, технические характеристики подвижного состава и инфраструктуры, а также требования к безопасности и надежности. Предлагаемая процедура повышения эффективности взаимодействия МИЛ с линиями других категорий представлена на рис. 1.

Процедура базируется на анализе и классификации линий. Большинство линий, кроме МИЛ, характеризуются высокой интенсивностью движения поездов и загрузкой инфраструктуры при соблюдении графика движения. МИЛ имеют низкие размеры движения и объемы грузовой и коммерческой работы. В связи с этим гибкие изменения в графике движения поездов не приведут к затруднениям в продвижении грузопотоков.

Диагностирование проблем взаимодействия линий с использованием цифровых технологий возможно посредством современных автоматизированных систем управления (АСУ СТ, «Эльбрус», АСУ МР, АСУ ТСК, «Оникс», ДМЗИ), которые позволяют проводить мониторинг и управление движением поездов в реальном времени. Также возможно применение инструментов для мониторинга состояния инфраструктуры и подвижного состава, а также искусственного интеллекта и машинного обучения для прогнозирования спроса на перевозки [7].

Системы управления можно использовать для определения неэффективных элементов

взаимодействия с использованием процедуры планирования и координации между линиями различных категорий для оптимизации маршрутов, перераспределения транспортных потоков, минимизации задержек и повышения пропускной способности транспортной сети. Например, при выделении интервалов в графике движения для пропуска поездов по МИЛ в периоды высокой загрузки прилегающих линий других категорий.

Производится оценка эффективности работы. В тех случаях, когда она требует корректировки, формируется сбалансированная система показателей для определения тенденции к повышению эффективности взаимодействия линий. Оптимизация маршрутов проводится на основе гибкого перераспределения маршрутов по данным от операторов, пассажиров и других участников перевозочного процесса для корректировки и повышения эффективности процесса взаимодействия железнодорожных линий различных категорий. На основе процедуры повышения эффективности взаимодействия интенсивных и малоинтенсивных линий формируются рекомендации для программы по повышению эффективности эксплуатации малоинтенсивных железнодорожных линий.

Оценка взаимодействия МИЛ с линиями других категорий

Рассмотрим блок 2 (рис. 1) процедуры повышения эффективности взаимодействия железнодорожных линий на основе производимых коммерческих операций, которые могут быть реализованы на станциях, расположенных на МИЛ и ИЛ в виде матрицы (табл. 1), на основе прейскуранта 10-01 [7].

Обозначения производимых коммерческих операций представлены из прейскуранта 10-01 [7]. На всех категориях линии выполняются операции:

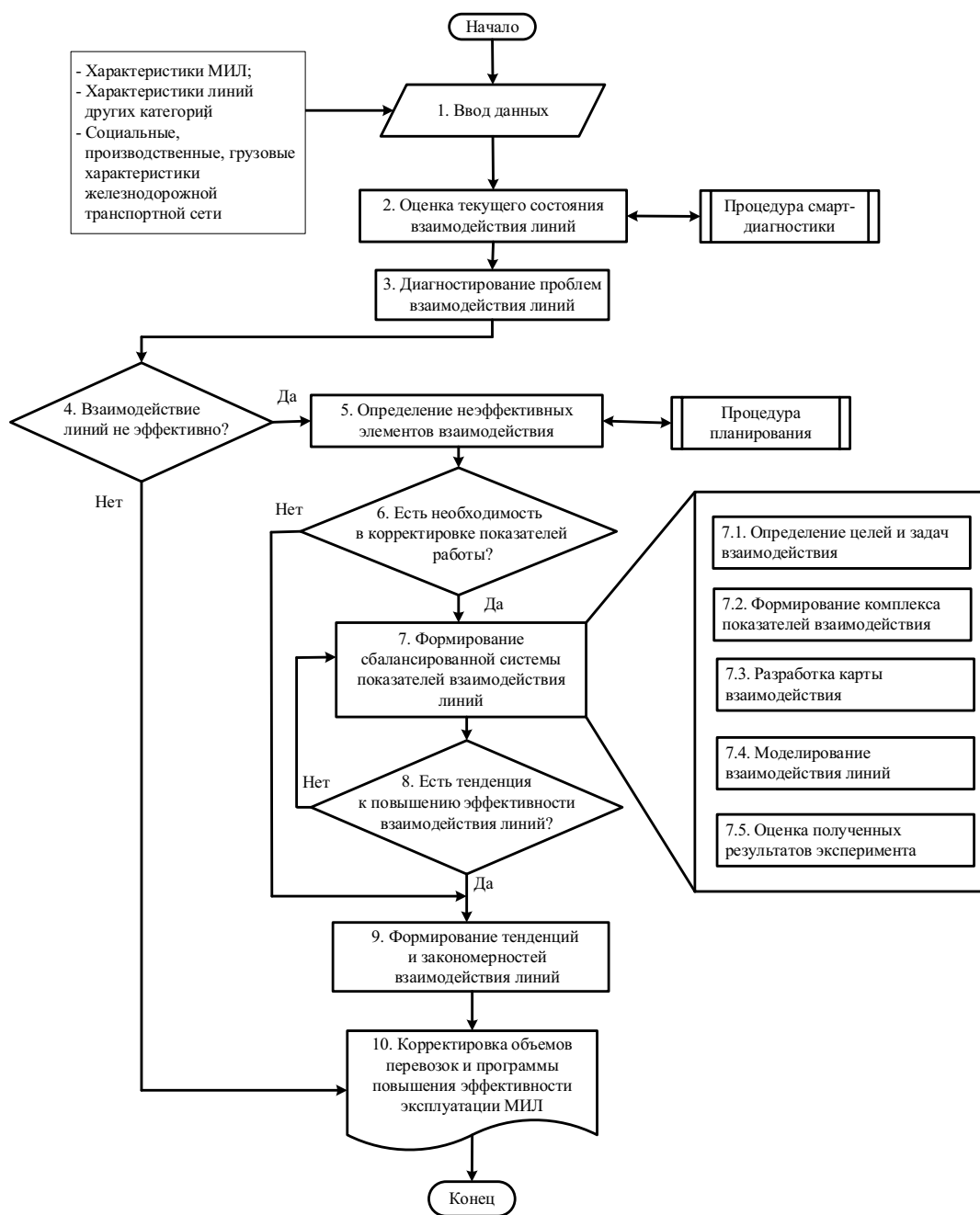


Рис. 1. Блок-схема процедуры повышения эффективности взаимодействия интенсивных и малоинтенсивных линий

ТАБЛИЦА 1. Матрица взаимодействия железнодорожных линий различных категорий по реализации коммерческих операций

Категории линий	Линии других категорий	МИЛ
Линии других категорий	П, О, 1, 3, 4, 5, 6, 8, 8н, 9, 10, 10н, Г, М, Т	П, Б, 1, 3, 6, 7, 9, Г
МИЛ	2, 4, 9, Г	7, 9 Г

– 9 — прием и выдача мелких отправок грузов, допускаемых к хранению на открытых площадках станций;

– Г — прием и выдача грузобагажа предприятий, организаций и учреждений.

На базе приведенных коммерческих операций целесообразно увеличивать степень взаимодействия МИЛ и ИЛ. Также перспективным направлением является операция 6 (прием и выдача грузов в универсальных контейнерах массой брутто 3,3 (5) и 5,5 (6) т на путях необщего пользования) (табл. 2).

Предложено определить степень согласованности МИЛ и линий других категорий по формуле:

$$S = \frac{\sum N_i}{\sum N_{i,j}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $\sum N_i$ — количество реализуемых коммерческих операций на станциях линии;

$\sum N_{i,j}$ — общее количество коммерческих операций.

ТАБЛИЦА 2. Степень согласованности коммерческих операций на железнодорожных линиях различных категорий

Категории линий	Линии других категорий	МИЛ
Линии других категорий	1	0,53
МИЛ	0,33	0,2

Увеличение количества возможных коммерческих операций при взаимодействии МИЛ с линиями других категорий позволит повысить эффективность функционирования транспортной сети. В связи с этим необходимо определить, какие наиболее вероятные коммерческие операции целесообразно реализовывать на МИЛ.

При выполнении на МИЛ операции «Прием и выдача мелких отправок грузов, требу-

ющих хранения в крытых складах станций» приведет к появлению на ИЛ операций 3, 5, 6, 8 и 8н. Аналогично по другим коммерческим операциям составлена матрица вероятностей взаимодействий МИЛ с линиями различных категорий по производимым коммерческим операциям.

На основе теории надежности [1] определим степень согласованности ИЛ и МИЛ по выражению:

$$H = \log_2 \cdot n, \quad (2)$$

где n — количество реализуемых коммерческих операций.

Мера согласованности коммерческих операций взаимодействия линий определяется на основе данных табл. 1. Количество операций на МИЛ $S_1 = 3$; количество операций на линиях других категорий $S_2 = 15$; при взаимодействии МИЛ с линиями других категорий реализуется $S_3 = 8$.

Мера согласованности H определяется как отношение разности операций на каждой из категорий линий к общему количеству операций и составит $H = 0,33$. Мера согласованности определяется в диапазоне $0 \leq H \leq 1$, где 0 — полная несогласованность, а 1 — полная согласованность.

Таким образом, для повышения степени согласованности и взаимодействия линий различных категорий целесообразно корректировать перечень коммерческих операций на МИЛ в соответствии с планируемыми объемами перевозок на дальнем горизонте.

Сбалансированная система показателей взаимодействия МИЛ с линиями других категорий

В данном разделе детализирован блок 7 «Формирование сбалансированной системы показателей взаимодействия линий» (рис. 1).

Система сбалансированных показателей (ССП) [9–11] позволяет формировать ключевые показатели, измерять и контролировать процесс взаимодействия МИЛ с линиями других категорий в условиях, когда финансовые показатели не являются единственным критерием эффективности организации и учитывается потенциал развития предприятия.

В работе предложена СПП взаимодействия железнодорожных линий различных категорий, позволяющая создать систему, которая

отражает взаимосвязь между различными аспектами процесса и обеспечивает комплексный подход к управлению системой взаимодействия линий различных категорий. ССП содержит следующие элементы (рис. 2):

1. Перспективы, включающие элементы для декомпозиции стратегии.
2. Цели, формирующие направление реализации стратегии.
3. Набор показателей, отражающих динамику при достижении целей.

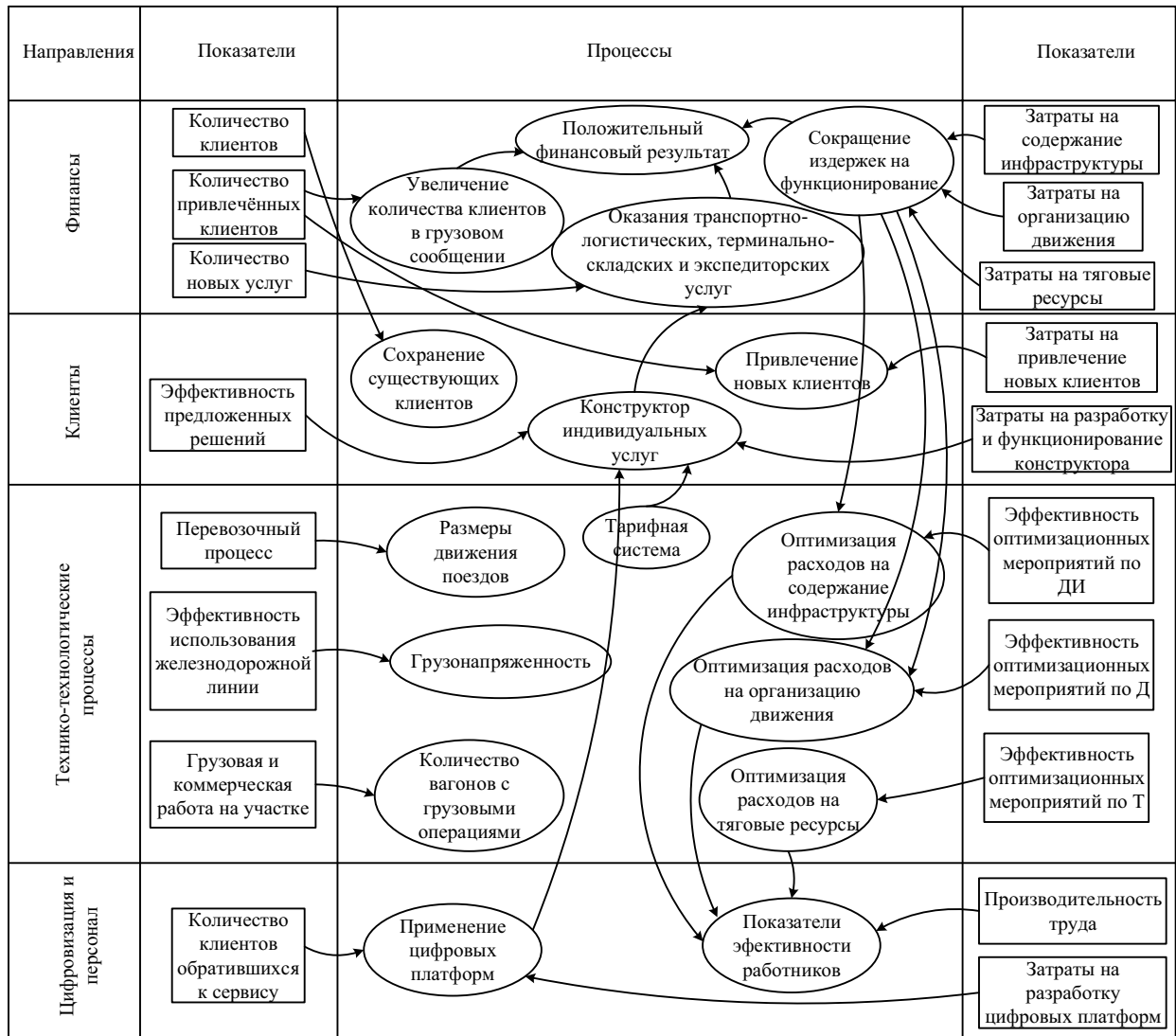


Рис. 2. Система сбалансированных показателей для повышения эффективности взаимодействия линий различных категорий

4. Количественные значения показателей для достижения цели.

5. Причинно-следственные связи целей, показателей и процессов.

6. Стратегические инициативы, состоящие в реализации мероприятий, направленных на достижение целей взаимодействия МИЛ с линиями других категорий.

ССП позволяет согласовать задачи функционирования железнодорожных линий различных категорий и железнодорожной транспортной сети в целом для достижения общих целей компании.

Реализация сбалансированной системы показателей взаимодействия МИЛ с линиями других категорий

Система сбалансированных показателей для повышения эффективности взаимодействия МИЛ и ИЛ реализована в программном

продукте BSC Designer [11], предназначенном для разработки и управления показателями системы (рис. 3), которые используются для планирования и контроля производительности предприятий и организаций (табл. 3).

Набор принятых показателей для разработки ССП представлен в табл. 3.

ССП позволяет оценить текущее состояние и определить направления для совершенствования работы транспортной сети. В табл. 4 представлены некоторые результаты проведенных экспериментов.

Реализация ССП обеспечивает рост количества новых клиентов (рис. 4) за счет комплекса мероприятий, которые формируют конструктор логистических решений:

1. Формирование гибких маршрутов и индивидуальных логистических услуг для клиентов в рамках конструктора индивидуальных логистических услуг, а также

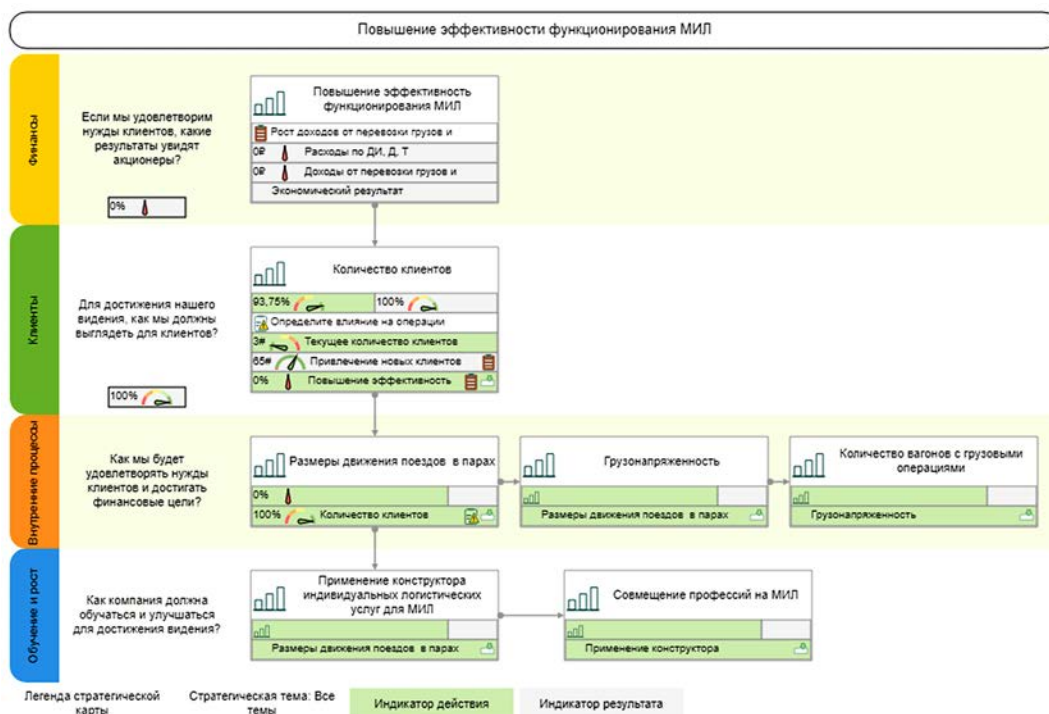


Рис. 3. Концептуальное изображение сбалансированной системы показателей для повышения эффективности взаимодействия МИЛ с линиями других категорий

ТАБЛИЦА 3. Набор показателей для разработки ССП

Категория	Показатель	Целевой показатель
Эксплуатационные	Реализация нормативного графика движения	Не менее 95 %
	Количество пар поездов в сутки	Увеличение на 10 %
	Грузонапряженность	Увеличение на 10 %
Финансовые	Доходность перевозок	Увеличение на 25 %
	Соотношение инвестиций и субсидий к доходам	Снижение зависимости от субсидий на 10 %
	Увеличение доходов от дополнительных услуг	Увеличение на 30 %
Социальные	Удовлетворенность пассажиров	Увеличение удовлетворенности на 15 %
	Расширение транспортной доступности	Увеличение числа обслуживаемых населенных пунктов на 10 %
Взаимодействие с линиями других категорий	Степень точности и актуальности данных, используемых для принятия решений о перераспределении транспортных потоков	Уменьшение времени получения достоверной информации на 5 %
	Способность линий адаптироваться к изменениям во внешней среде и требованиям клиентов	Повышение уровня адаптивности на 5 %

ТАБЛИЦА 4. Показатели моделирования ССП

Категория	Показатель	Исходное значение	Целевое значение	Значение показателей, достигнутое за счет корректировки программы по повышению эффективности эксплуатации МИЛ
Эксплуатационные	Реализация нормативного графика движения	80 %	95 %	80 %
	Количество пар поездов в сутки	3 поезда	3,6 поезда	3 поезда
	Грузонапряженность	1200	3000	2000
Финансовые	Доходность перевозок	125 %	156,25 %	125 %
	Соотношение инвестиций и субсидий к доходам	7	6,3	7
	Увеличение доходов от дополнительных услуг	20 %	26 %	20 %
Социальные	Удовлетворенность пассажиров	85 %	97,75 %	85 %
	Расширение транспортной доступности	5	6	6
Взаимодействие с линиями других категорий	Степень точности и актуальности данных, используемых для принятия решений о перераспределении транспортных потоков	80 %	90 %	85 %
	Способность линий адаптироваться к изменениям во внешней среде и требованиям клиентов	80 %	96 %	80 %

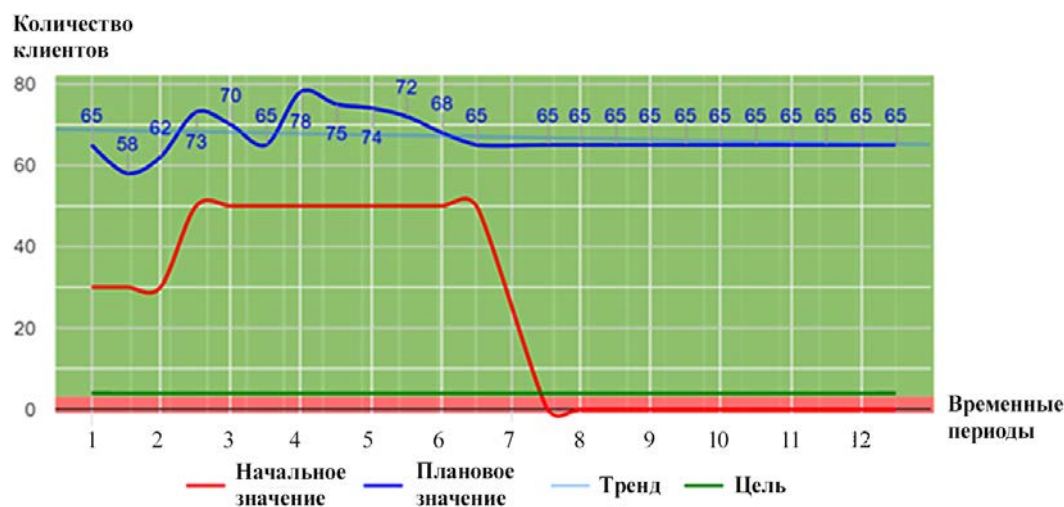


Рис. 4. Количество клиентов, использующих МИЛ в перевозочном процессе

модернизация инструментов для организации перевозок и решений по использованию инфраструктуры МИЛ.

2. Мультимодальные перевозки, объединяющие железнодорожные, автомобильные и морские перевозки.

3. Формирование комплексных предложений, включающих услуги по хранению, упаковке и документальному оформлению грузов.

4. Заключение партнерских соглашений с крупными грузоотправителями и логистическими компаниями для использования малоинтенсивных железнодорожных линий для долгосрочного и взаимовыгодного сотрудничества, с учетом динамично изменяющихся внешних и внутренних условий функционирования.

Конструктор логистических решений представляет собой инструмент, позволяющий пользователям создавать и настраивать логистические решения, адаптированные к их специфическим потребностям. Такой конструктор дает возможность выбрать различные компоненты и опции, чтобы сформировать оптимальную цепь поставки, включающую транспортировку, хранение и дополнительные необходимые операции с грузами.

Элементы конструктора индивидуальных логистических услуг включают в себя выбор транспортных средств и маршрутов, формирование складских услуг, таможенное оформление, мониторинг продвижения грузопотока, интеграцию с АСУ железнодорожного транспорта, сбор и анализ информации для принятия последующих управляющих воздействий. Конструктор индивидуальных логистических услуг, доступный различным участникам перевозочного процесса, позволяет создавать уникальные решения для повышения эффективности логистических процессов. На рис. 5 представлена динамика привлечения новых клиентов за счет применения конструктора логистических решений.

Наблюдается общая положительная линия тренда по количеству привлекаемых клиентов, готовых использовать МИЛ. Применение конструктора индивидуальных логистических услуг на МИЛ позволит повысить эффективность взаимодействия за счет разработки гибких схем доставки грузов с учетом индивидуальных потребностей клиентов по времени, маршруту и условиям перевозки.

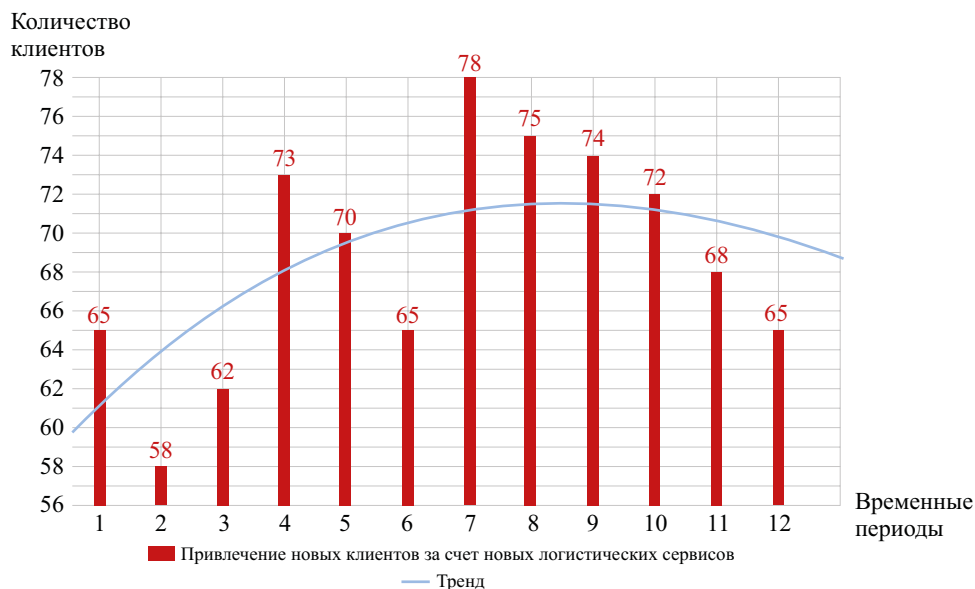


Рис. 5. Динамика количества новых клиентов за счет применения конструктора индивидуальных логистических услуг

Заключение

Разработка ССП взаимодействия МИЛ с линиями других категорий позволяет повысить эффективность функционирования железнодорожной транспортной сети на основе предложенной комплексной системы показателей, состоящей из технических, технологических и эксплуатационных характеристик. ССП позволяет выявлять узкие места, а также определять элементы для развития процесса взаимодействия МИЛ с линиями других категорий.

Применение конструктора индивидуальных логистических услуг на МИЛ способствует развитию интеграции таких линий в современные логистические цепи поставок, повышая их эффективность, гибкость и конкурентоспособность, в том числе для обеспечения государственных перевозок.

Библиографический список

1. Методика классификации железнодорожных линий ОАО «РЖД», утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 04.03.2015 № 551р. 8 с.

2. Эффективность эксплуатации и обслуживания малоинтенсивных железнодорожных линий / под ред. С. П. Вакуленко; Российский университет транспорта РУТ (МИИТ). М.: ВИНТИ РАН, 2018. 218 с.

3. Шарапов С. Н., Лялько М. В. Классификация и специализация железнодорожных линий — основа оптимизации эксплуатационных расходов // Железнодорожный транспорт. 2016. № 7. С. 50–60.

4. Терещнев Л. В. Малодеятельные железнодорожные линии или неинтенсивная экономика // Транспорт Российской Федерации. 2008. № 6 (19). С. 20–24.

5. Ковалев К. Е., Новичихин А. В. Совершенствование транспортных технологических процессов железнодорожной сети // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2024. Т. 21, вып. 1. С. 178–186.

6. Ковалев К. Е., Новичихин А. В. Процедура планирования работы малоинтенсивных железнодорожных линий: логистические аспекты и нейросетевые модели // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2023. Т. 20, вып. 2. С. 325–335.

7. Шестаков П. А., Мартышкин Р. В. О методических рекомендациях по формированию тестового прогноза грузовых перевозок в рамках модуля сценарного прогнозирования спроса на грузовые перевозки в детализации «станция — станция» предиктивной бизнес-модели железнодорожных перевозок ОАО «РЖД» // Бюллетень ученого совета АО «ИЭРТ». 2018. № 3. С. 74–80.

8. Прейскурант № 10-01. Тарифы на перевозку грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые «Российскими железными дорогами» (утв. постановлением ФЭК РФ от 17.06.2003 № 47-т/5). 463 с.

9. Каплан Р. С., Нортон Д. П. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию. М.: Олимп-Бизнес, 2006. 320 с.

10. Шилова Н. Н., Хорсов А. Н. Сбалансированная система показателей в стратегии управления

компанией // Экономика и предпринимательство. 2019. № 4 (105). С. 781–783.

11. Kapnadak V., Senel M., Coyle E. J. Distributed iterative quantization for interference characterization in wireless networks // 2010 IEEE International Conference on Communications. Cape Town, 2010. С. 5502602.

Дата поступления: 14.07.2024

Решение о публикации: 24.08.2024

Информация об авторах

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

НОВИЧИХИН Алексей Викторович — докт. техн. наук, доцент; novitchihin@bk.ru

Towards improving the technology of planning transport processes of interaction between railway lines of various categories

K. E. Kovalev, A.V. Novichikhin

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russia

For citation: *Kovalev K. E., Novichikhin A.V. Towards improving the technology of planning transport processes of interaction between railway lines of various categories // Proceedings of Petersburg Transport University. Vol. 21, iss. 3, P. 718–728. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2024-03-718-728*

Abstract

Purpose: increasing the efficiency of the transport network based on the developed balanced system of indicators for the interaction of railway lines of various categories. **Methods:** methods of control theory, system analysis, synthesis and mathematical modeling, theory of transport processes and systems, and transport planning methods are used. **Results:** a set of indicators that influence the interaction of railway lines of various categories is substantiated, based on a balanced system of indicators, which makes it possible to develop corrective measures to optimize the transportation process. **Practical significance:** the implementation of the proposed solutions allows us to develop and specify a program to increase the efficiency of operation of low-intensity public railway lines and adjust scheduled transportation on these lines.

Keywords: low-intensity railway lines, balanced scorecard, flexible management, planning of transport processes

References

1. Metodika klassifikacii zheleznodorozhnyh linij OAO "RZHD", utverzhennaya rasporyazheniem OAO "RZHD" ot 04.03.2015 № 551r. 8 s. (In Russian)
2. Effektivnost' ekspluatscii i obsluzhivaniya malointensivnyh zheleznodorozhnyh linij / pod red. S. P. Vakulenko; Rossijskij universitet transporta RUT (MIIT). M.: VINITI RAN, 2018. 218 s. (In Russian)
3. Sharapov S. N., Lyal'ko M. V. Klassifikaciya i specializaciya zheleznodorozhnyh linij — osnova optimizacii ekspluatsionnyh raskhodov // Zheleznodorozhnyj transport. 2016. № 7. S. 50–60. (In Russian)
4. Terebnev L. V. Malodeyatel'nye zheleznodorozhnye linii ili neintensivnaya ekonomika // Transport Rossijskoj Federacii. 2008. № 6 (19). S. 20–24. (In Russian)
5. Kovalev K. E., Novichihin A. V. Sovershenstvovanie transportnyh tekhnologicheskikh processov zheleznodorozhnoj seti // Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya. 2024. T. 21, vyp. 1. S. 178–186. (In Russian)
6. Kovalev K. E., Novichihin A. V. Procedura planirovaniya raboty malointensivnyh zheleznodorozhnyh linij: logisticheskie aspekty i nejrosetevye modeli // Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya. 2023. T. 20, vyp. 2. S. 325–335. (In Russian)
7. Shestakov P. A., Martyshkin R. V. O metodicheskikh rekomendacijah po formirovaniyu testovogo prognoza gruzovyh perevozok v ramkah modulya scenarnogo prognozirovaniya sprosa na gruzovye perevozki v detalizacii "stanciya — stanciya" prediktivnoj biznes-modeli zheleznodorozhnyh perevozok OAO "RZHD" // Byulleten' uchenogo soveta AO "IERT". 2018. № 3. S. 74–80. (In Russian)
8. Prejskurant № 10-01. Tarify na perevozku gruzov i uslugi infrastruktury, vypolnyaemye "Rossijskimi zheleznymi dorogami" (utv. postanovleniem FEK RF ot 17.06.2003 № 47-t/5). 463 s. (In Russian)
9. Kaplan R. S., Norton D. P. Sbalansirovannaya sistema pokazatelej. Ot strategii k dejstviyu. M.: Olimp-Biznes, 2006. 320 s. (In Russian)
10. Shilova N. N., Horsov A. N. Sbalansirovannaya sistema pokazatelej v strategii upravleniya kompaniej // Ekonomika i predprinimatel'stvo. 2019. № 4 (105). S. 781–783. (In Russian)
11. Kapnadak V., Senel M., Coyle E. J. Distributed iterative quantization for interference characterization in wireless networks // 2010 IEEE International Conference on Communications. Cape Town, 2010. C. 5502602.

Received: 14.07.2024

Accepted: 24.08.2024

Author's information:

Konstantin E. KOVALEV — PhD in Engineering;
kovalev_kostia@mail.ru

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