

УДК 656.212.5

К. Е. Ковалев, канд. техн. наук

А. В. Новичихин, докт. техн. наук

*Кафедра «Логистика и коммерческая работа»,
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I*

КОМПЛЕКСНЫЙ СИНЕРГЕТИКО-ИНДИКАТОРНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗОК НА ИНТЕНСИВНЫХ И МАЛОДЕЯТЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ

Рассмотрена актуальная для железнодорожного транспорта комплексная проблема эффективного функционирования и развития методологии управления перевозками на малодеятельных железнодорожных линиях при взаимодействии с интенсивными магистралями. Поставлены комплексные проблемы, исследованы теоретические положения задач функционирования малодеятельных железнодорожных линий и их взаимодействие с интенсивными и проектируемыми (модернизируемыми) линиями. Решение указанной проблемы имеет важное социально-экономическое и хозяйственное значение для работы железнодорожной транспортной сети, обеспечения потребностей производства и населения в перевозках.

Предложен комплексный синергетико-индикаторный подход к управлению интенсивными и малодеятельными железнодорожными линиями на базе существующих функций управления, включающих анализ, организацию, стимулирование, контроль и координацию перевозочного процесса. Дана общая оценка динамики функционирования малодеятельных железнодорожных линий.

Представлена концептуальная структура комплексного синергетико-индикаторного подхода, имеющая эмпирические основы, предпосылки, теоретические основы и реализацию, подтверждаемую критериями достоверности. Разработана структура предлагаемой системы управления железнодорожным транспортом при выделении объектов управления. Установлены элементы взаимодействия интенсивных, малодеятельных и проектируемых железнодорожных линий. Разработана схема математической модели взаимодействия интенсивных, модернизируемых малодеятельных линий и функция состояния рассматриваемой системы. Классифицирована моделируемая транспортная система.

Комплексный синергетико-индикаторный подход, управление процессами перевозок, интенсивные линии, малодеятельные линии, проектируемые линии, пропускная способность, железнодорожный транспорт, структурный синтез

DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-2-252-267

Введение

В современных условиях загрузки существующей железнодорожной сети явно выражена тенденция к концентрации движения на высокоинтенсивных направлениях, связанная с добычей и переработкой сырья, а также направлениями, входящими в международные транспортные коридоры и подходы к морским торговым портам. Спад объемов производства в регионах и износ материально-технической базы железнодорожного транспорта стремительно

обостряет проблему эффективного использования инфраструктуры малодеятельных железнодорожных линий.

Низкая эффективность малодеятельных железнодорожных линий обусловлена спадом производства или перераспределениями транспортных потоков в районах, обслуживаемых этими линиями. Указанные причины определяют необходимость поиска путей снижения их убыточности, прежде всего за счет эффективного использования инфраструктуры и стимулирования клиентов к перевозкам по этим направлениям, что весьма актуально для ОАО «РЖД», субъектов РФ и укрепления транспортной доступности территорий.

Анализ нормативно-правовых документов [1] показал, что под «малодеятельной линией» понимается железнодорожный путь общего пользования с невысокой грузонапряженностью и низкой эффективностью работы. Задачи повышения эффективности функционирования малодеятельных линий в настоящее время еще не нашли оптимальных решений в рамках совершенствования методологических основ управления процессами перевозок.

Таким образом, актуальной проблемой является разработка комплексного синергетико-индикаторного подхода управления перевозочным процессом. В качестве объектов управления процессами перевозок выделены интенсивные, проектируемые (моделируемые) и малодеятельные линии как структурные элементы сложной транспортной системы. Это предполагает необходимость идентификации связей с управляющей системой и декомпозиции ее элементов, определение набора входных и выходных векторов и установление взаимовлияний и зависимостей линий.

1. Современное состояние вопроса эксплуатации малодеятельных линий

В современных условиях на железных дорогах Российской Федерации количество малодеятельных линий составляет около трехсот участков [2]. Наблюдается тенденция к увеличению их количества и протяженности (рис. 1).

Проблема функционирования малодеятельных железнодорожных линий рассмотрена в отечественных и зарубежных исследованиях [3–16]. Анализ исследований показал отсутствие разработанного методологического подхода взаимодействия интенсивных и малодеятельных железнодорожных линий, который был бы доведен до реализации и подтвердил свою эффективность на практике. Разработка такого подхода позволяет учитывать взаимоисключающие факторы для каждого из видов железнодорожных линий, в т. ч. комплексировать параметры проектирования и показатели эффективности на количественном и качественном уровне. Актуальные задачи для функционирования интенсивных железнодорожных линий — снижение размеров движения поездов и приведение их к нормативным значениям, повышение пропускной способности путем совершенствования технических и технологических решений, инструментария



Рис. 1. Процентное соотношение малодеятельных линий к общей протяженности линий ОАО «РЖД» в динамике

их разработки и корректировки. На малодеятельных линиях недостаточные размеры движения поездов приводят к убыточности, низкой эффективности, уменьшению инвестиционной привлекательности. При этом многие из них имеют серьезное стратегическое и социально-экономическое значение для регионов нашей страны.

Цель исследования — решение комплексной проблемы взаимодействия интенсивных, малодеятельных и проектируемых (модернизируемых) линий, что позволит повысить эффективность функционирования железнодорожной транспортной системы, создать предпосылки к увеличению значимости и привлекательности интермодальных, мультимодальных и других видов перевозок, недостаточно востребованных в настоящее время.

Для применения комплексного синергетико-индикаторного подхода необходима разработка научно-теоретических основ управления процессами перевозок при взаимодействии интенсивных, малодеятельных и проектируемых (модернизируемых) железнодорожных линий. Для достижения цели исследования используется метод структурного синтеза.

Области структурного синтеза при взаимодействии проектируемых, интенсивных и малодеятельных железнодорожных линий представлены на рис. 2. Идеей структурного синтеза является комплексирование элементов на этапах разработки и принятия управляющих решений при обеспечении взаимодействия железнодорожных линий, а также учет и агрегирование их отличительных признаков, в т. ч. на количественном и качественном уровнях. Посредством синтеза общих целей обеспечения потребностей производства и населения



Рис. 2. Схема структурного синтеза при взаимодействии проектируемых, интенсивных и малодеятельных железнодорожных линий

в перевозках и выделения трех составляющих поставлены задачи повышения эффективности перевозочного процесса, которые решаются с помощью разрабатываемых алгоритмов, процедур и синергетического эффекта различных математических методов, позволяющих улучшить показатели взаимодействия функционирующих интенсивных и малодеятельных линий.

Функционирование каждой железнодорожной линии возможно по различным сценариям, включающим жизненный цикл линии. Цикл охватывает различные состояния системы: проектирование, строительство, функционирование, эксплуатация при нестандартных ситуациях, снижение или увеличение объемов перевозок, моральное и техническое устаревание, изменение класса и типа линии, модернизация или закрытие линии.

2. Формализованное описание комплексного синергетико-индикаторного подхода

Концептуальная структура решения комплексной проблемы функционирования малодеятельных линий представлена на рис. 3.

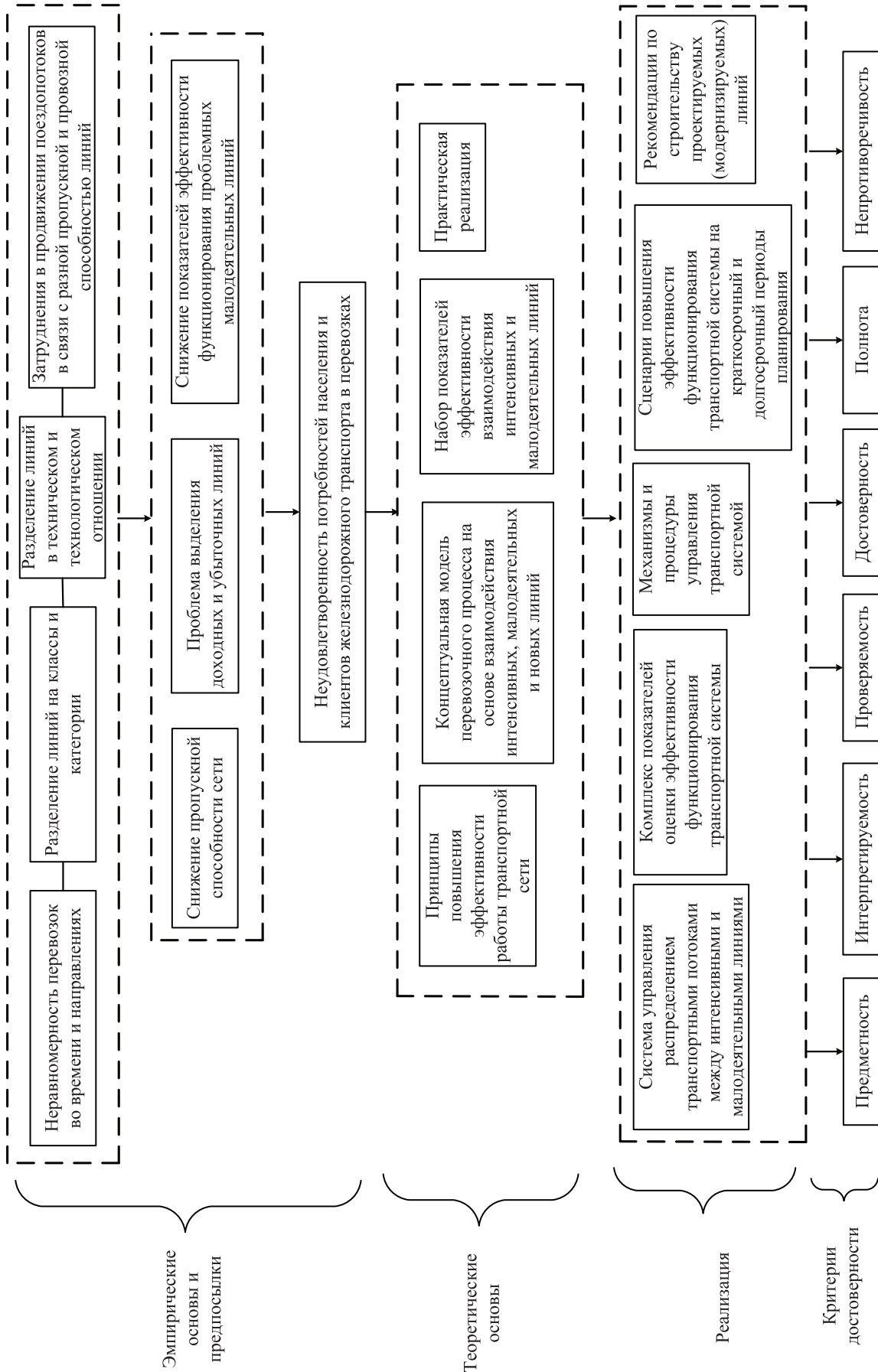


Рис. 3. Концептуальная структура решения комплексной проблемы функционирования малодействительных линий

Одним из результатов решения проблемы станет обоснованное перераспределение и появление новых транспортных потоков между интенсивными и малодеятельными линиями. В тех случаях, когда использование малодеятельных линий неэффективно, рассмотрена возможность разработки рекомендаций по строительству новых линий.

Предпосылки для решения указанной комплексной проблемы — неравномерность перевозок по времени и направлениям. Наибольшие размеры перевозок можно осуществить при циклическом функционировании транспортного процесса с одинаковыми размерами движения и при отсутствии нестандартных ситуаций.

Неравномерность приводит к разделению железнодорожных линий по классам и категориям в зависимости от характера перевозок. Особенности размеров перевозок влияют на расходующие средства и системы управления на линии. Классификация линий железнодорожной транспортной системы дает понимание структуры сети, но также вызывает затруднения в продвижении поездопотоков, что вызвано разной пропускной способностью линий.

Указанные предпосылки ведут к снижению пропускной способности железнодорожной транспортной сети и к проблеме выделения высокодоходных, доходных и убыточных железнодорожных линий. В итоге потребности населения и производства в перевозках не удовлетворяются.

Решения основано на теоретических положениях повышения эффективности работы транспортной сети. Перевозочный процесс представлен в виде концептуальной модели, в которой объектами системы являются интенсивные, малодеятельные и новые железнодорожные линии. Каждый из объектов системы обладает свойствами и связями. Прямые и обратные связи имеются между всеми объектами. В качестве свойств интенсивных линий можно выделить приведенную грузонапряженность и техническую скорость грузовых поездов. Свойства малодеятельных линий — размеры движения и приведенная грузонапряженность. Свойства новых линий — планируемая приведенная грузонапряженность, чистый дисконтированный доход и эксплуатационные расходы.

Разработана концептуальная структура системы управления железнодорожным комплексом, направленная на повышение эффективности работы железнодорожной транспортной системы с учетом максимально возможного использования малодеятельных линий (рис. 4) и улучшения структурных взаимодействий между транспортом, населением и предприятиями с помощью проблемно-ориентированных наборов индикаторов и показателей при взаимодействии.

На входе системы вектор $V(t)$ характеризует параметры потребностей населения и предприятий (клиентов) в перевозках на железнодорожном транспорте. Выход системы представлен вектором $Vi(t)$, характеризующим показатели удовлетворенности населения и предприятий в перевозках. Целевой ориентир — повышение показателей эффективности функционирования железнодорожной транспортной сети и доходности малодеятельных линий.

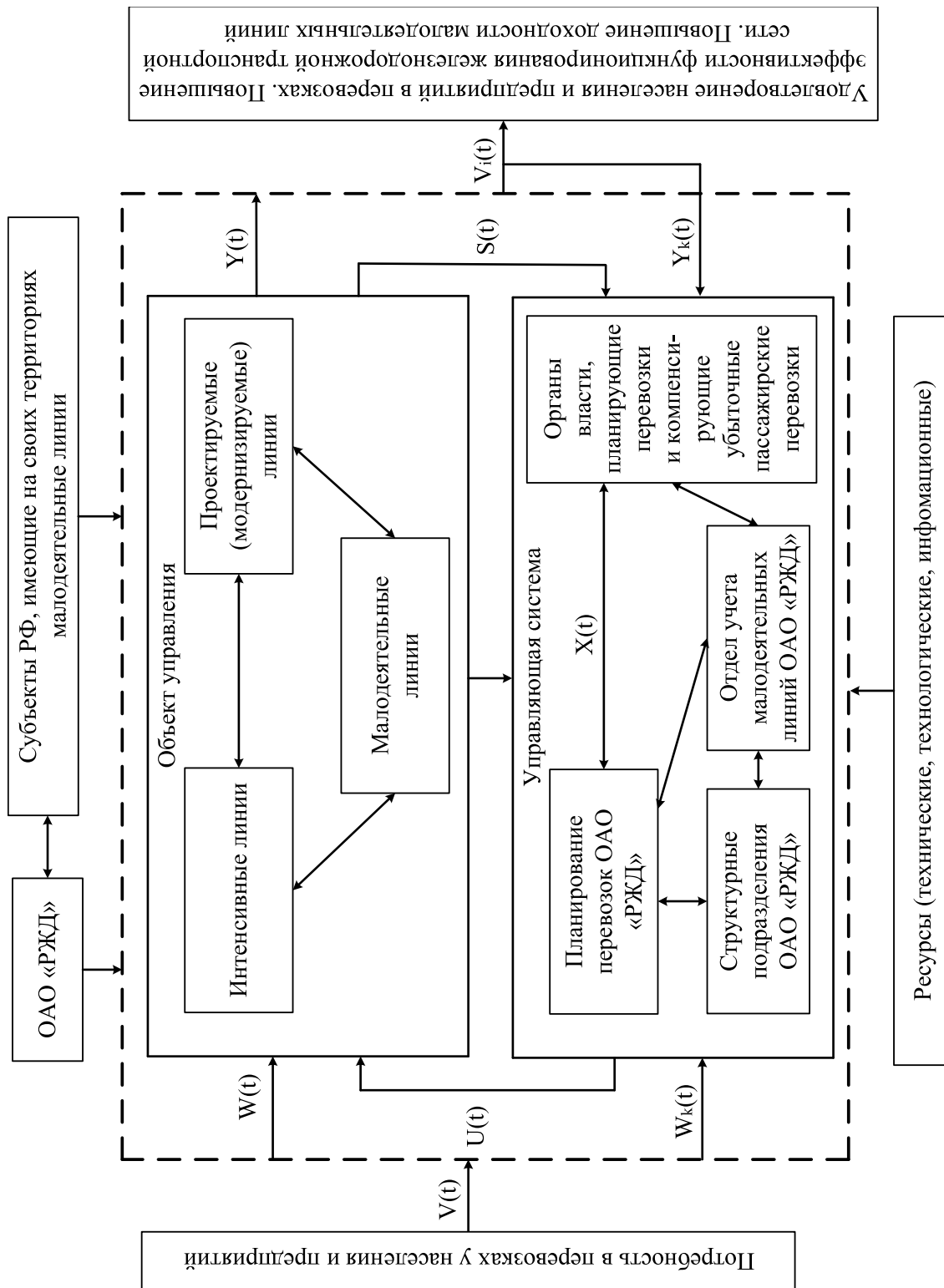


Рис. 4. Концептуальная структура системы управления железнодорожным транспортом при выделении объектов управления интенсивных, проектируемых (модернизируемых) и малодеятельных линий

Объект управления — железнодорожный комплекс, включающий в себя интенсивные линии со значительными размерами перевозок; малодейственные линии с низкими размерами движения, признанные убыточными; проектируемые и модернизируемые линии, которые смогут взять на себя часть грузопотоков. Объект управления представлен векторами входных $W(t)$ и выходных величин $Y(t)$, состояний объекта $S(t)$.

Управляющая система характеризуется вектором управляющих воздействий $U(t)$ (согласованными между ОАО «РЖД» и органами исполнительной власти в регионах размерами перевозок, концепцией развития ОАО «РЖД» до 2030 года, нормативными требованиями, планами, техническими заданиями, расчетными показателями классности железнодорожных линий)). Цель управления $X(t)$ — удовлетворение потребностей населения и предприятий в перевозках, повышение показателей эффективности функционирования железнодорожной транспортной сети, повышение доходности малодейственных линий, оценка вектора контролируемых внешних воздействий $Wk(t)$ и вектора контролируемых переменных состояний объекта $Yk(t)$.

Очевидно влияние интенсивных и малодейственных линий на новые линии. Оценка влияния и выявление его закономерностей можно установить с помощью модельных экспериментов на количественном и качественном уровнях согласно натурным и статистическим данным.

Для разработки модели планируется в качестве переменных использовать численные значения размеров движения поездов по интенсивным и малодейственным линиям. Чтобы оценить эффективность работы модели взаимодействия интенсивных, проектируемых (модернизируемых) и малодейственных линий, нужно разработать комплекс показателей. К ним можно отнести коэффициент перераспределения поездопотоков между малодейственными и интенсивными линиями и критерий использования малодейственных тупиковых или транзитных линий.

Процедуры и алгоритмы на основе концептуальной модели позволят создать систему управления распределением транспортных потоков между интенсивными и малодейственными линиями. Инструментарий определения показателей транспортной системы и механизмы управления способны обеспечить разработку эффективных решений и сценариев функционирования для повышения эффективности работы линий.

С помощью модели взаимодействия интенсивных, проектируемых (модернизируемых) и малодейственных линий (рис. 5) планируется разработать алгоритмы, нормирование весовых значений связей и свойств объектов системы для установления рекомендаций по строительству новых железнодорожных линий.

Перечислим параметры описанной концептуальной структуры.

1. Предметность (теоретические основы и механизмы реализации направлены на повышение эффективности существующей транспортной сети).

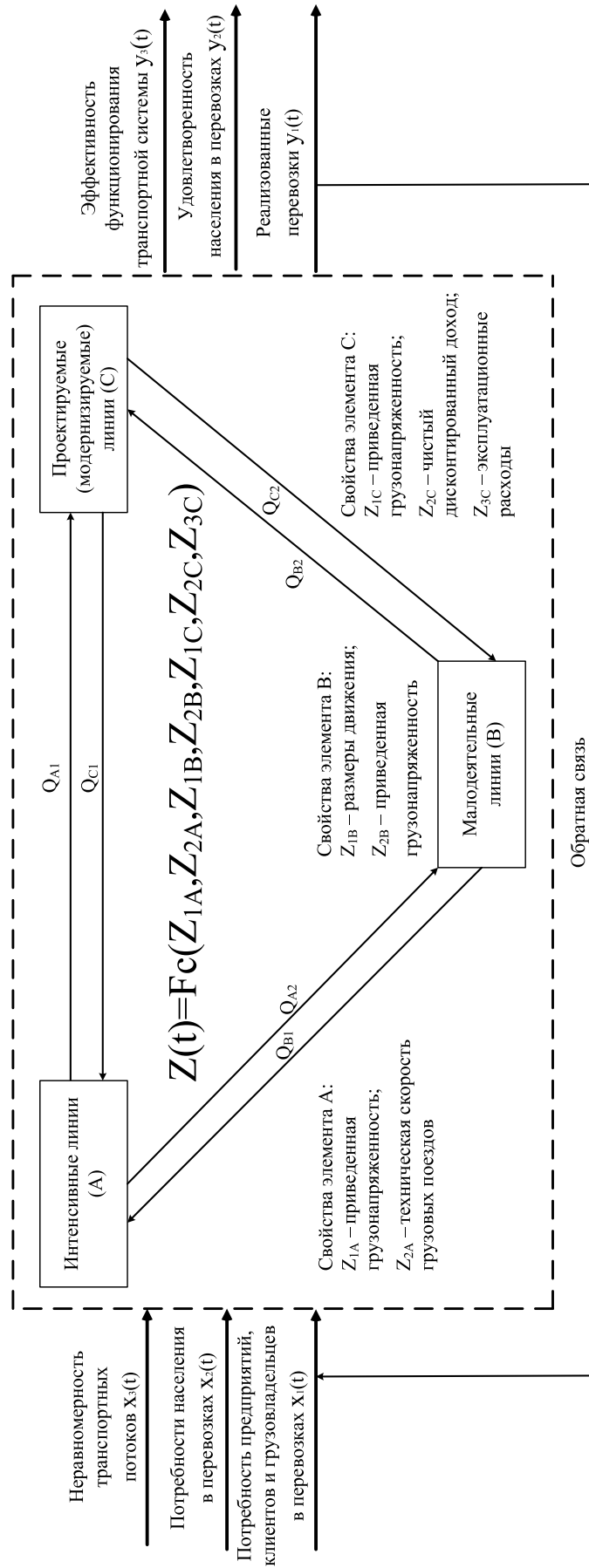


Рис. 5. Схема математической модели взаимодействия интенсивных, проектируемых (модернизируемых) и малодеятельных линий

2. Интерпретируемость (наличие расчетных значений рассматриваемых параметров дает возможность численно оценить эффективность работы транспортной системы).

3. Проверяемость (результаты работы модели, алгоритмов и процедур можно сопоставить с реальными объектами транспортной инфраструктуры).

4. Достоверность (система управления, комплекс показателей и механизмы управления отражают изменения пропускной способности транспортной инфраструктуры малодеятельных железнодорожных линий).

5. Полнота (охват интенсивных, малодеятельных и новых железнодорожных линий в комплексе влияют на реализуемую пропускную способность железнодорожной транспортной системы).

6. Непротиворечивость (концепция, принципы и результаты реализации в виде системы управления, комплекса показателей и сценарии их моделирования и изменения не противоречат друг другу и имеют прямые и обратные связи).

При функционировании системы входным воздействием будет потребность в перевозках $x_1(t)$ и другие параметры $x_2(t)$, $x_3(t)$, результатом функционирования системы — реализованные перевозки $y_1(t)$ и другие параметры $y_2(t)$, $y_3(t)$.

Состояние системы Z есть функция F_c в совокупности свойств ее элементов, которое можно представить выражением:

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

Каждый объект системы имеет набор показателей. Для интенсивных линий учитываются приведенная грузонапряженность и техническая скорость, для малодеятельных — размеры движения и тонно-километры работы, для новых — приведенная грузонапряженность, чистый дисконтированный доход и эксплуатационные расходы на обслуживание линии.

Характеристики математической модели взаимодействия интенсивных, проектируемых (модернизируемых) и малодеятельных линий представлены в табл. 1 (в соответствии с общей теорией систем) [17–20].

Взаимодействие интенсивных, проектируемых (модернизируемых) и малодеятельных линий является эргодическим при взаимодействии человека и автоматизированных систем управления различного уровня и назначения. Управляющее решение принимает человек при поддержке автоматизированных систем управления.

Наличие математических моделей позволит создать алгоритмы расчета загрузки оперативного персонала на малодеятельных линиях с целью оптимизации затрат на функционирование и повышения доходности. Понимание содержательной части показателей функционирования и взаимодействия интенсивных и малодеятельных железнодорожных линий позволит сформулировать механизмы управления малодеятельными линиями.

Таблица 1. Характеристики модели взаимодействия интенсивных, проектируемых (модернизируемых) и малодеятельных линий

Классификационные признаки	Вид класса	Сфера применения
Природа элементов	Реальный	Система является реальной и функционирующей
Происхождение	Искусственный	Система создана человеком для управления перевозочным процессом в железнодорожной транспортной сети
Длительность существования	Временный	Система является временной, т. к. структура, цели и задачи каждого элемента могут меняться
Изменчивость свойств	Динамический	Элементы и параметры системы могут меняться как непрерывно, так и дискретно
Степень сложности	Сложный	Система состоит из большого числа взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, каждый из ее элементов характеризуется многомерностью и имеет набор факторов и показателей
Отношение к среде	Открытый	Система является открытой, т. к. может обмениваться с другими видами транспорта, грузоотправителями и грузополучателями грузами и информацией
Реакция на возмущающие воздействия	Активный	Система активна, способна противостоять воздействиям среды (в т. ч. учитывается активность лица, принимающего решения)
Характер поведения	С управлением	Система является управляемой и функционирует на основе управляющих воздействий, передаваемых человеком
Степень связи с внешней средой	Открытый	Система связана с системами других видов транспорта и сопутствующих отраслей народного хозяйства
Степень участия в реализации управляющих воздействий людей	Человеко-машинный	Человек сопряжен с техническими устройствами; окончательное решение принимает человек, а средства автоматизации лишь помогают ему обосновать правильное решение

Таким образом, комплексный синергетико-индикаторный подход позволит комплексно решать проблемы функционирования малодеятельных линий как самостоятельных субъектов, так и проблемы их взаимодействия с интенсивными и проектируемыми линиями.

На интенсивных направлениях возникает необходимость перераспределения потоков. Решением может стать либо строительство дополнительных путей (это

капиталоемкий вариант), либо использование существующей инфраструктуры малодеятельных линий, признанных убыточными. Повышение эффективности эксплуатации малодеятельных линий повысит привлекательность железнодорожного транспорта в целом. Разработанная модель обеспечивает адаптацию алгоритмов распределения транспортных потоков для снижения транспортной работы на интенсивных направлениях и повышения ее на малодеятельных направлениях, тем самым увеличивая эффективность функционирования железнодорожной транспортной системы. Разработка показателей взаимодействия интенсивных и малодеятельных железнодорожных линий и их комплексирование позволяет оценить эффективность работы, определить синергетический эффект и закономерности функционирования.

Заключение

Эксплуатация малодеятельных линий — важная социально-экономическая и хозяйственная задача.

Результатом исследования является разработка решения комплексной проблемы эффективного функционирования и развития методологии управления перевозками на малодеятельных железнодорожных линиях при взаимодействии с интенсивными магистралями.

Практическая значимость исследования состоит в том, что в современных условиях возрастает количество и протяженность малодеятельных участков в связи с динамично изменяющимися условиями экономики и социальной миграции населения страны. Поэтому своевременные решения в области взаимодействия интенсивных и малодеятельных линий позволит сохранить и повысить эффективность работы железнодорожного транспорта.

Установлены элементы взаимодействия интенсивных, малодеятельных и проектируемых железнодорожных линий. Представлены теоретические основы и концептуальная структура методологического подхода, реализация которого подтверждается критериями достоверности.

Разработана схема математической модели, имеющая входной и выходной поток, элементы и взаимосвязи системы. Определена оценка и зависимость состояния системы от совокупности ее свойств и элементов. Предложены характеристики модели взаимодействия интенсивных, проектируемых (модернизируемых) и малодеятельных линий.

Инфраструктура железнодорожного транспорта обладает слабой динамикой и не поспевает за изменениями грузопотоков, что приводит к появлению малодеятельных линий. Современные технические и экономические аспекты эксплуатации таких линий направлены в сторону снижения затрат на организацию перевозочного процесса. Это позволяет использовать малодеятельные линии как полигон для испытания современных технических решений с дальнейшей возможностью их применения на интенсивных железнодорожных линиях.

Библиографический список

1. «Классификации и специализации железнодорожных линий». Утв. ОАО «РЖД» 23 декабря 2015 г., № 3048р. – 74 с.
2. [Интернет-ресурс: газета «Гудок»: «РЖД увеличивают темп погрузки на малодеятельных ветках»: <https://www.gudok.ru/content/infrastructure/1505179/> дата доступа 20.11.2020].
3. Frumin D. Branching processes of conservative nested Petri nets / D. Frumin, I. A. Lomazova // VPT 2014. Second International Workshop on Verification and Program Transformation. Vol. 28: EPiC Series. EasyChair, 2014. – Pp. 19–35.
4. 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. – Т. 10. – № 6. – С. 420–424.
5. 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. – Т. 108. – № 4. – С. 353, doi: 10.1093/rpd/nch035.
6. Fröhling R. D. Wheel/rail interface management in heavy haul railway operations – applying science and technology // Vehicle System Dynamics, 2007. – Т. 45. – № 7–8. – С. 649–677.
7. Ballis A., Dimitriou L. Issues on railway wagon asset management using advanced information systems // Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2010. – Т. 18. – № 5. – С. 807–820.
8. 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.
9. Sauer C. Gleisstromkreise – ein veraltetes oder aktuelles Mittel zur Gleisfreimtding / C. Sauer // Eisenbahningenieur, 2014. – 65. – No 7. – S. 25–30.
10. Q. Shen, J. Qiu, G. Liu, and K. Lv. Intermittent fault's parameter framework and stochastic petri net based formalization model. Eksploatacja i Niezawodnosc-Maintenance and Reliability, 2016. – Vol. 18, no. 2. – Pp. 210–217.
11. The tool for modeling of wireless sensor networks with nested Petri nets. In Proceedings of 7th the Spring / Nina Buchina and Leonid Dworzanski // Summer Young Researchers' Colloquium on Software Engineering, SYRCoSE '13. Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences, 2013. – Pp. 15–18.
12. Jian W. A Train Control System for Low Density Line in China / W. Jian, J. Cheng Mingm, C. Baigen, L. Jiang // Journal of the China railway society, 2015. – December. – Pp. 46–53.
13. Кириленко О. Н. Экономическая эффективность методов эксплуатации малодеятельных линий // Экономика железных дорог. – 2014. – № 8. – С. 79–85.
14. Вакуленко С. П., Колин А. В., Евреенова Н. Ю. Малодеятельные линии: состояние и варианты оптимизации // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15. – № 3 (70). – С. 174–180.
15. Никитин А. Б., Кушпиль И. В. Возможность внедрения цифровой радиосвязи и организации передачи данных между станциями на малодеятельных линиях // Автоматика на транспорте. – 2019. – Т. 5. – № 1. – С. 45–61.
16. Шорохова А. В., Новичихин А. В. Имитационные модели социально-экологической безопасности горнопромышленных районов // 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. Шеповалов Е. Н. Некоторые алгебраические аспекты метода системного анализа в общей теории сложных механических систем // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Физика. Химия. – 2006. – № 7. – С. 164–175.
19. Месарович М., Месарович И. Общая теория систем: математические основы // М. Такаха. – М.: Мир, 1978. – 311 с.
20. Bratishchev A., Batishcheva G., Denisov M., Zhuravleva M. Bifurcation analysis and synergetic control of a dynamic system with several parameters // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2020. – Т. 1095. – С. 639–646.
21. Romanenko V. E., Yarkin E. K., Mokhov V. A. System analysis and the task of ontological modeling of multimodal transportation // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 272 (2019) 022231, doi:10.1088/1755-1315/272/2/022231.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии
профессором В. В. Сапожниковым*

Поступила в редакцию 16.03.2020, принята к публикации 19.06.2020

КОВАЛЕВ Константин Евгеньевич — кандидат технических наук, доцент кафедры «Логистика и коммерческая работа» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I
e-mail: kovalev_kostia@mail.ru

НОВИЧИХИН Алексей Викторович — доктор технических наук, профессор кафедры «Логистика и коммерческая работа» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I
e-mail: novitchihin@bk.ru

© Ковалев К. Е., Новичихин А. В., 2021

AN INTEGRATED SYNERGETIC-INDICATOR APPROACH TO THE MANAGEMENT OF TRANSPORTATION PROCESSES ON BUSY AND LOW-DENSITY LINES

K. E. Kovalev, PhD in Engineering
A. V. Novichikhin, Dr. Sci. in Engineering

*Department of Logistics and commercial work,
Emperor Alexander I Petersburg State Transport University*

The article considers the complex problem of effective functioning and the methodology development for managing transportation on low-density railway lines when interacting with intensive highways, which is urgent for railway transport. The article raises complex problems and investigates theoretical provisions of the problems of functioning of low-density railway lines and their interaction with intensive and projected (modernized) lines. The solution to this problem is of great socio-economic and economic importance for the operation of the railway transport network, ensuring the needs of production and the population in transportation.

The article proposes a comprehensive synergetic-indicator approach to the management of intensive and low-density railway lines based on existing management functions, including analysis, organization, stimulation, control and coordination of the transportation process. A general assessment of the dynamics of the functioning of low-density railway lines is given.

The conceptual structure of the integrated synergetic-indicator approach is presented, which has empirical foundations, prerequisites, theoretical foundations and implementation, confirmed by reliability criteria. The structure of the proposed railway transport management system is developed for the selection of management objects. The elements of interaction of busy, low-density and projected railway lines are established. The mathematical model diagram of the interaction of intensive modernized low-density lines and the state function of the system under consideration have been developed. The modeled transport system is classified.

Integrated synergetic-indicator approach, management of transportation processes, busy lines, low-density lines, projected lines, throughput, railway transport, structural synthesis

DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-2-252-267

References

1. “Klassifikatsii i spetsializatsii zheleznodorozhnykh liniy”. Utv. OAO “RZHD” 23 dekabrya 2015 g., № 3048r [*Classifications and specializations of railway lines*]. Approved by JSC “Russian Railways” on December 23, 2015. No. 3048r]. Moscow, 74 p. (In Russian)
2. «RZHD uvelichivayut temp pogruzki na malodeyatel’nykh vetkakh» [“Russian Railways is increasing the rate of loading on low-activity lines”]. URL: <http://www.gudok.ru/content/infrastructure/1505179> (accessed: November 20, 2020) (In Russian)
3. Frumin D., Lomazova I.A. (2014) Branching processes of conservative nested Petri nets. VPT 2014. *Second International Workshop on Verification and Program Transformation*, vol. 28: EPiC Series. EasyChair, pp. 19–35.
4. Chan Y.K., Gaffney P., Neailey K., Ip W.H. (1998) The establishment of an integrated management system paradigm for railway engineering management. *The TQM Magazine*, vol. 10, no. 6, pp. 420–424.
5. Purnell C.J., Frommer G., Chan K., Auch A.A. (2004) Development and management of a radon assessment strategy suitable for underground railway tunnelling projects. *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 108, no. 4, p. 353.
6. Fröhling R.D. (2007) Wheel/rail interface management in heavy haul railway operations – applying science and technology. *Vehicle System Dynamics*, 2007, vol. 45, no. 7–8, pp. 649–677.
7. Ballis A., Dimitriou L. (2010) Issues on railway wagon asset management using advanced information systems. *Transportation Research. Part C: Emerging Technologies*, vol. 18, no. 5, pp. 807–820.
8. Hiraguri S., Fukuda M., Fujita H., Ono Y. (2012) Train Control System for Secondary Lines Using Radio Communications in Specific Are. *Quarterly Report of RTRI*, February, pp. 1–6.
9. Sauer C. (2014) Gleisstromkreise – ein veraltetes oder aktuelles Mittel zur Gleisfreimtding. *Eisenbahningenieur*, vol. 65, no. 7, pp. 25–30.
10. Shen Q., Qiu J., Liu G., and Lv.K. (2016) Intermittent fault’s parameter framework and stochastic petri net based formalization model. *Eksploatacja i Niezawodnosc-Maintenance and Reliability*, vol. 18, no. 2, pp. 210–217.
11. Buchina N., Dworzanski L. (2013) The tool for modeling of wireless sensor networks with nested Petri nets. *Summer Young Researchers’ Colloquium on Software Engineering, SYRCoSE ’13*. Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences, pp. 15–18.
12. Jian W., Cheng Mingm J., Baigen C., Jiang L. (2015) A Train Control System for Low Density Line in China. *Journal of the China railway society*, December, pp. 46–53.
13. Kirilenko O.N. (2014) Ekonomicheskaya effektivnost’ metodov ekspluatatsii malodeyatel’nykh liniy [Economic efficiency of methods for operating low-activity lines]. *Ekonomika zheleznykh dorog [Economy of railways]*, no. 8, pp. 79–85 (In Russian)

14. Vakulenko S. P., Kolin A. V., Evreenova N. Y. (2017) Malodeyatel'nyye linii: sostoyaniye i varianty optimizatsii [Inactive lines: state and optimization options]. *Mir transporta [World of Transport]*, vol. 15, no. 3 (70), pp. 174–180. (In Russian)
15. Nikitin A. B., Kushpil I. V. (2019) Vozmozhnost' vnedreniya tsifrovoy radiosvyazi i organizatsii peredachi dannykh mezhdru stantsiyami na malodeyatel'nykh liniyakh [Possibility of introducing digital radio communication and organizing data transmission between stations on low-activity lines]. *Avtomatika na transporte [Transport Automation]*, vol. 5, no. 1, pp. 45–61 (In Russian)
16. Shorokhova A. V., Novichikhin A. V. (2016) Imitatsionnyye modeli sotsial'no-ekologicheskoy bezopasnosti gornopromyshlennykh rayonov [Simulation models of social and ecological safety of mining regions]. *Ekonomika i menedzhment sistem upravleniya [Economics and management of control systems]*, no. 4, pp. 93–100 (In Russian)
17. Shorokhova A. V., Novichikhin A. V. (2016) Sotsial'no-ekologicheskaya bezopasnost' gornopromyshlennykh rayonov: razrabotka i konkretizatsiya organizatsionno-tekhnologicheskogo mekhanizma upravleniya [Socio-ecological safety of mining regions: development and specification of the organizational and technological mechanism of management]. *Ekonomika i menedzhment sistem upravleniya [Economics and Management of Control Systems]*, no. 4.1 (22), pp. 194–200 (In Russian)
18. Shepovalov Y. N. (2006) Nekotoryye algebraicheskiye aspekty metoda sistemnogo analiza v obshchey teorii slozhnykh mekhanicheskikh sistem [Some algebraic aspects of the system analysis method in the general theory of complex mechanical systems]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Matematika. Fizika. Khimiya [Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematics. Physics. Chemistry]*, no 7, pp. 164–175 (In Russian)
19. Mesarovic M., Takahara Y. (1975) General systems theory: mathematical foundations. Elsevier Science Publ. Mesarovic M., Takahara Y. *Obshchaya teoriya sistem: matematicheskiye osnovy*. Moscow, Mir Publ., 1978, p. 311.
20. Bratishchev A., Batishcheva G., Denisov M., Zhuravleva M. (2020) Bifurcation analysis and synergetic control of a dynamic system with several parameters. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1095, pp. 639–646.
21. Romanenko V. E., Yarkin E. K., Mokhov V. A. (2019) System analysis and the task of ontological modeling of multimodal transportation. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 272 (2019) 022231*. DOI:10.1088/1755-1315/272/2/022231.