

Оригинальная статья

УДК 656.222.6

EDN: <https://elibrary.ru/mlbwok>

Оценка эффективности интервального регулирования движения поездов на однопутных направлениях железнодорожной сети

С. А. Бессоненко✉, Е. В. Климова, Н. И. Осипов

Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС)
Новосибирск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Значительное развитие систем автоматики и телемеханики, обусловившее многообразие режимов эксплуатации однопутных железнодорожных направлений, вызывает потребность более детального исследования потенциала систем интервального регулирования для повышения эффективности перевозочного процесса. Объектом исследования является перевозочный процесс на однопутном железнодорожном направлении. Предметом исследования является возможность применения систем интервального регулирования движения поездов для наращивания пропускной и провозной способности взамен потребности в строительстве вторых главных путей. Целью исследования является определение диапазона эффективного применения интервального регулирования на однопутных направлениях.

Материалы и методы. Для исследования задействовано многоподходное моделирование, включающее применение процессного подхода для имитации работы дежурного персонала, агентного моделирования для выбора режима движения поезда и системной динамики для тяговых расчетов. С целью оценки экономической эффективности различных вариантов эксплуатации однопутного направления в условиях действия дестабилизирующих факторов применена стратегия игры с «природой». Предложен новый подход к оценке эффективности интервального регулирования через построение сферы равноэкономических решений использования интервального регулирования и строительства вторых главных путей.

Результаты. По результатам прогонов имитационной модели сформированы матрицы показателей и конфигурации, по критериям теории игр выполнена экономическая оценка различных стратегий эксплуатационной работы на однопутном направлении. Наибольшую эффективность в качестве меры по отдалению потребности возведения вторых главных путей продемонстрировала координатная система интервального регулирования «Анаконда». Получена сфера равноэкономических решений целесообразного использования интервального регулирования и строительства вторых главных путей.

Обсуждение и заключение. Предложенный метод выбора наиболее экономически эффективной системы интервального регулирования на однопутном направлении на основе построения сферы равноэкономических решений в сочетании с играми с «природой» может быть использован для рационализации распределения инвестиционных ресурсов железнодорожного транспорта. Сформулированные на основе его применения выводы не противоречат положениям теории транспортных потоков и позволяют снизить степень неопределенности при развитии инфраструктуры однопутных направлений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: железнодорожная сеть, однопутное направление, интервальное регулирование движения поездов, результирующая пропускная способность, имитационное моделирование, теория игр, технико-экономическая эффективность, сфера равноэкономических решений

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Бессоненко С. А., Климова Е. В., Осипов Н. И. Оценка эффективности интервального регулирования движения поездов на однопутных направлениях железнодорожной сети // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2024. Т. 83, № 4. С. 287–301.



TRANSPORTATION PROCESS MANAGEMENT

Original article

UDK 656.222.6

EDN: <https://elibrary.ru/mlbwok>



Evaluating train interval control performance on single-track lines of the railway network

Sergey A. Bessonenko✉, Ekaterina V. Klimova, Nikolay I. Osipov

Siberian Transport University,
Novosibirsk, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The significant development of automation and telemechanics systems, which caused a variety of operating modes of single-track lines, requires a more detailed study of the potential of interval control systems for more efficient transport. The object of the study is the transport process on a single-track line. The subject of the study is the potential of train interval control systems to increase throughput and carrying capacity instead of building second main tracks. The study intends to determine an effective performance range of interval control on single-track lines.

Materials and methods. The study involved a multi-approach simulation, including a process approach to simulate the work of on-duty personnel, agent-based simulation for train mode selection and system dynamics for traction calculations. Different operating options for a single-track line under destabilising factors were assessed using the game with Nature strategy. The paper proposes a new approach to assessing interval control through the creation of an equal economic solution sphere of interval control use and construction of second main tracks.

Results. Simulation model runs created matrices of indicators and configurations, and different operational strategies on a single-track line were assessed using game theory criteria. The Anaconda Coordinate Interval Control System has proved to be the most effective way to reduce the need for second main track construction. The paper presents an equal economic solution sphere of feasible use of interval control and construction of second main tracks.

Discussion and conclusion. The proposed method of selecting the most feasible interval control system on a single-track line based on the creation of an equal economic solution sphere in combination with the game with Nature could be used to rationalise the allocation of railway transport investment. The conclusions from its application do not contradict the theory of traffic flows and reduce uncertainty in the development of single-track line infrastructure.

KEYWORDS: railway network, single-track line, train interval control, resulting throughput capacity, simulation modelling, game theory, technical and economic efficiency, equal economic solution sphere

FOR CITATION: Bessonenko S. A., Klimova E. V., Osipov N. I. Evaluating train interval control performance on single-track lines of the railway network. *Russian Railway Science Journal*. 2024;83(4):287-301. (In Russ.).

Введение. Стремительное переориентирование грузопотоков в восточном направлении, произошедшее за последние несколько лет, предопределило функционирование транспортной инфраструктуры Российской Федерации в условиях дефицита пропускных и провозных способностей, в связи с чем необходимы мобилизация резервов и внедрение инноваций, ориентированных на сокращение экстенсивного расширения инфраструктуры благодаря наиболее полной реализации ее потенциала. Одним из перспективных способов повышения пропускной способности железнодорожной сети является сокращение межпоездных интервалов за счет ликвидации избыточного расстояния между поездами, в связи с чем выявлена востребованность исследований по оценке эффективности систем интервального регулирования движения поездов (СИРДП).

Значительный научно-практический интерес при определении целесообразности применения СИРДП представляет анализ устойчивости поездопотока к дестабилизирующим факторам при действии различных систем. Специалистами УрГУПС с применением комплекса ИМЕТРА¹ оценено положительное влияние виртуальной сцепки (ВСЦ) на восстановление движения по участку железной дороги после его перерыва [1]; учеными НИИАС на основе графического метода выполнена оценка пропускной способности участка для различных длин зон и значений ограничения скорости, на основе которой сделан вывод о положительном влиянии на перевозочный процесс использования ВСЦ в сравнении с традиционной автоблокировкой [2]; сотрудниками ДонИЖТ определено допустимое время отсутствия цифровой радиосвязи в СИРДП [3]. Анализ достижений в области оценки эффективности СИРДП показывает, что в детальном исследовании нуждаются как многие другие факторы (например, неравномерность), так и варианты СИРДП, в том числе и координатные системы интервального регулирования (КСИР).

Внедрение СИРДП наиболее целесообразно на двухпутных особогруженонапряженных линиях, эксплуатируемых в условиях острого дефицита пропускной способности [4]. Другим, только набирающим популярность аспектом в отечественных теории и практике является применение СИРДП на однопутных линиях [5]. На данный момент теоретические аспекты анализа целесообразности СИРДП на однопутных линиях значительно проработаны в США. Американскими учеными на основе имитационного моделирования оценена эффективность интервального регулирования

как инструмента по снижению простоя под скрещением пакетов поездов [6], как меры по повышению целесообразности обращения коротких грузовых поездов [7] и определена прямая зависимость эффективности СИРДП от количества двухпутных перегонов [8].

Результаты иностранных исследований, представляя неоспоримый интерес в контексте рассматриваемой проблемы, тем не менее не могут быть интегрированы в отечественную железнодорожную сеть без существенной адаптации ввиду кардинальных отличий как в плане принципов функционирования СИРДП [9], так и резервов инфраструктуры в целом [10]. Кроме того, СИРДП уже достаточно активно внедряются на сети железных дорог ОАО «РЖД», что делает возможным дальнейшее их развитие с учетом опыта реального производства [4].

Отечественные научные работы по оценке целесообразности сокращения межпоездных интервалов на однопутных направлениях на современном этапе связаны с определением положения автоблокировки (без сравнения различных вариантов интервального регулирования) в перечне мероприятий по освоению возрастающих объемов перевозок (между строительством дополнительных разъездов и вторых главных путей) [11]. Известна методика оценки пропускной способности с помощью имитационного моделирования на основе вариантных графиков движения поездов, позволяющая определить потенциал автоблокировки с «фиксированными» блок-участками (АБТЦ) в сравнении с полуавтоблокировкой для нейтрализации негативного влияния неравномерности на эксплуатационную работу [12].

Другим направлением является анализ характеристик поездопотока при ликвидации скрещений с переходом к движению без остановок на промежуточных станциях, характерному для двухпутных направлений. Данный переход допустим при наличии ярко выраженной непарности размеров движения (следствием которой является специализация однопутных линий для пропуска поездов одного направления [13]) или при использовании караванного типа графика. Следует отметить, что если первый способ в силу специфики местных условий в отдельных случаях может оказаться целесообразным, то применение второго на постоянной основе окажет негативное влияние на срок доставки грузов и ухудшит показатели использования локомотивного парка, нивелировав эффект от уплотнения поездопотока.

¹ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015662972 Российская Федерация. Система макро моделирования транспортных узлов и полигонов ИМЕТРА: № 2015619807; заявл. 15.10.2015; опубл. 08.12.2015 / Козлов П.А., Иванов И.В., Пермикин В.Ю.; ООО «Аналитические и управляющие системы на транспорте «Транспортный алгоритм».

	Приrost пропускной способности без сбоев	Аналитические расчеты	Возведение разводных и разгонных путей	Отказы связи	Имитационное моделирование	Интеграция в эксплуатируемую линию	Внедрение дополнительных светофоров в горловинах	Интеграция в проектируемую линию	Техническая реализация	Влияние системы тягового энергоснабжения	Влияние ограничений скорости	Влияние на показатели эксплуатационной работы локомотивного хозяйства	Новые схемы путевого развития станций	Влияние неравномерности перевозок	Влияние сбоев системы интервального регулирования	Сравнение с двухпутной конфигурацией	Восстановление после перерыва в движении	Экономическая эффективность	Охваченность теорией игр
АБТЦ, однопутный полигон			✗	✗			✗												
АБТЦ, двухпутный полигон			✗	✗			✗									✗			
ВСЦ, однопутный полигон																			
ВСЦ, двухпутный полигон																✗			
АБТЦ-МШ, однопутный полигон				✗															
АБТЦ-МШ, двухпутный полигон				✗												✗			
КСИР, однопутный полигон																			
КСИР, двухпутный полигон																✗			

Рис. 1. Матрица исследований в области оценки эффективности интервального регулирования движения поездов:

■ — высокая степень изученности; ■ — средняя степень изученности; ■ — низкая степень изученности; ✗ — исследование аспекта не требуется

Fig. 1. Matrix of studies in the field of train interval control performance evaluation:

■ — high degree of research; ■ — medium degree of research; ■ — low degree of research; ✗ — no aspect study is required

Основная часть имеющихся исследований касательно эффективности СИРДП сводится к оценке технической эффективности (рис. 1), тогда как большое значение имеет и экономическая сторона данной проблемы. Решения, позволяющие обеспечить наибольшую пропускную способность (реализующая концепцию «подвижных» блок-участков автоблокировка (АБТЦ-МШ), радиоблокировка), предполагают значительные инвестиции и с большой долей вероятности могут оказаться нецелесообразными при внедрении на однопутных направлениях.

Целью данного исследования является определение экономической границы достаточности применения основных вариантов интервального регулирования на однопутных направлениях в качестве инструмента для устранения потребности в строительстве вторых главных путей.

Материалы и методы. Блок-схема авторского алгоритма оценки эффективности интервального регулирования на однопутном направлении представлена на рис. 2. Для проводимого исследования предложено применение многоподходного моделирования в среде AnyLogic. Подробное описание

авторской методики моделирования эксплуатационной работы однопутного направления при различных вариантах интервального регулирования, уровня инфраструктуры и типа графика движения представлено в работе [5].

Процессный подход задействован для принятия пользователем модели решений по продвижению поездопотока по направлению и имитации логики функционирования технических станций. Во время движения поезда посредством диаграмм состояний для каждого агента-поезда симулируются действия машиниста по выбору режимов ведения, соединение по цифровой связи и работа локомотивной сигнализации. На основе принципов системной динамики с помощью связей между накопителем, параметрами, табличными функциями и переменными методом Эйлера решается основное уравнение движения поезда. Важной особенностью разработанной модели является возможность учета человеческого фактора регулированием фактически реализуемой доли силы тяги, поскольку в процессе движения машинист использует лишь часть мощности локомотива [14], что существенно повышает вероятность «невыдержки»

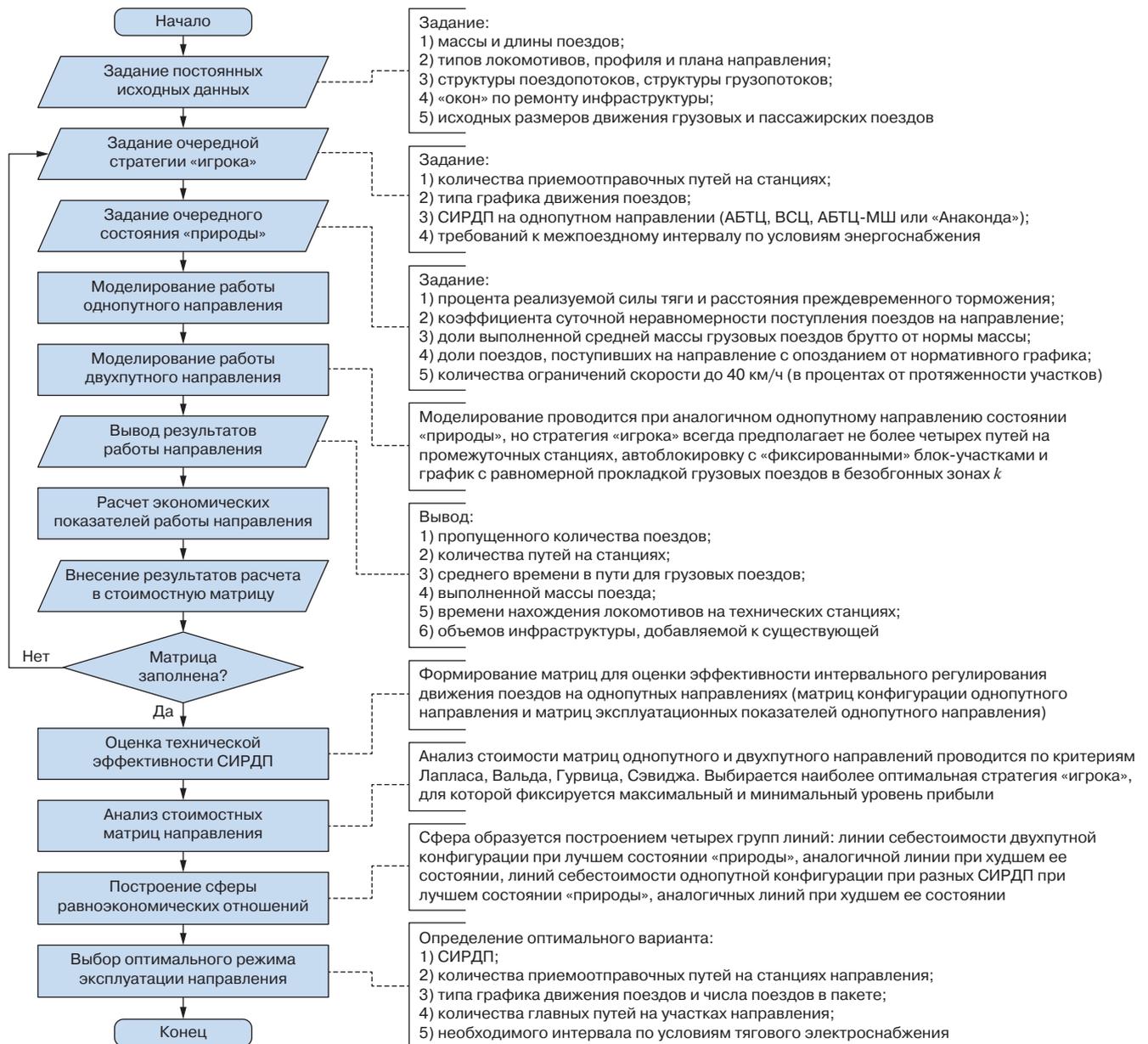


Рис. 2. Блок-схема авторского алгоритма оценки эффективности интервального регулирования движения поездов на однопутном направлении

Fig. 2. Block diagram of the author algorithm for assessing the efficiency of train interval control on a single-track line

оптимального межпоездного интервала. В модели заложены тяговые характеристики основных локомотивов, применяемых на сети. При выявлении в ходе моделирования на участковой станции отсутствия локомотива под готовый к отправлению состав происходит его генерирование и размещение на выходе из депо.

В качестве моделируемого объекта принято одно из однопутных направлений железнодорожной сети,

на котором согласно Стратегии развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 г.² планируется строительство сплошных вторых главных путей. На данном направлении проведена валидация авторской модели. Анализ реальных и моделируемых поездных ситуаций и сопоставление их результатов (количественных и качественных показателей работы направления) позволяют сделать вывод о возможности

² Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года [Электронный ресурс]: утв. распоряжением Правительства РФ от 17 июня 2008 г. № 877-р. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/1/1010> (дата обращения: 23.08.2024).

использования многоподходного моделирования для объективной оценки качества продвижения поездопотоков в условиях различных вариантов конфигурации однопутного направления. Характеристики рассматриваемого однопутного направления приведены в табл. 1.

Значительное сокращение неопределенности при принятии управленческих и инвестиционных решений на железнодорожном транспорте может обеспечить использование теории игр [15] — теории математических моделей принятия решений в условиях конфликта. Например, анализ предложенного в работе [16] алгоритма выбора решений, сокращающих потери поездо-часов, подтверждает актуальность применения теории игр для оптимизации функционирования железнодорожных систем.

Для данного исследования задействованы игры с «природой», при которых сознательно действует один из участников («игрок»), а второй участник («природа») не имеет заинтересованности в исходе игры (табл. 2). Стратегии «игрока» заключаются в изменении инфраструктуры, прогнозных объемов перевозок или графика движения поездов. Важное значение для

применения теории игр с целью оценки эффективности СИРДП имеет наиболее полное описание состояний «природы» через параметры, варьирование которых определяет степень ее агрессивности по отношению к потоку поездов. В то же время для оптимизации количества сочетаний, проанализированных в исследовании, каждый аспект состояния «природы» рассматривается в качестве либо наиболее благоприятного, либо наименее благоприятного с целью формирования верхней и нижней границ технико-экономической эффективности, определение которых является первоочередной задачей при принятии инвестиционных решений.

В данной работе проанализировано влияние на эффективность интервального регулирования ограничений скорости (рис. 3), суточной неравномерности (коэффициент которой на практике может достигать значения 1,3 [17]; аналогичное значение применяется и в теоретических исследованиях [12]) и поступления на направление поездов с отклонением от графика на 30 мин (на величину, являющуюся репрезентативной для анализа эффективности решений по нагону поездами ниток нормативного графика³).

Таблица 1

Характеристики исследуемого направления, принятые при моделировании

Table 1

Characteristics of the line under studying adopted in modelling

Параметр	Базовые значения
Количество участков	2
Протяженность	169 км
Установленная скорость движения	Грузовые поезда: 80 км/ч; Пассажирские поезда: 120 км/ч
Суммарное количество приемоотправочных путей на всех промежуточных (участковых) станциях	34 (10)
Руководящий уклон	9 ‰
Количество кривых	220
Количество промежуточных станций	14
Количество участковых станций	1
Унифицированный межпоездной интервал по условиям энергоснабжения (нечетное направление/четное направление)	10 мин/13 мин
Род тяги	Электровозная (94 км постоянного тока, 61 км переменного тока)
Эксплуатируемая СИРДП	АБТЦ
Серия грузовых локомотивов на участке постоянного тока	2ЭС6
Серия грузовых локомотивов на участке переменного тока	ВЛ80 ^с
Серия пассажирских локомотивов (электропоездов) на участке постоянного тока	ЭП2К (ЭД4)
Серия пассажирских локомотивов (электропоездов) на участке переменного тока	ЭП1 (ЭД9М)
Норма массы и длины грузовых поездов	4000 т, 62 усл. ваг.
Норма массы и длины контейнерных поездов	2500 т, 45 физ. ваг.
Норма массы пассажирских поездов	1100 т брутто
Размеры движения пассажирских (пригородных) поездов	4 пары (5 пар)

³ Бадажков М.А. Повышение эффективности использования графика движения грузовых поездов: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08. Новосибирск, 2022. 182 с.

Параметры стратегий «игрока» и состояний «природы»

Table 2

Parameters of Player strategies and states of Nature

Параметр	Принимаемые значения
Стратегии «игрока»	
Система интервального регулирования (для однопутной конфигурации)	АБТЦ; ВСЦ; АБТЦ-МШ; КСИР
Система интервального регулирования (для двухпутной конфигурации)	АБТЦ
Количество главных путей на перегоне	I; II
Прогнозные размеры движения пар грузовых поездов	16; 28; 40
Доля контейнерных поездов от общего количества грузовых поездов	0,25; 0,75
Состояния «природы»	
Доля движения поездопотока при действии ограничений скорости (до 40 км/ч) относительно протяженности направления	0; 0,6
Доля грузовых поездов, поступивших на направление с отклонением от нормативного графика на 30 мин	0; 0,3
Коэффициент суточной неравномерности поступления поездов на направление	1; 1,3
Доля выполненной средней массы грузовых поездов брутто от нормы массы	0,95; 0,7

В исследовании проанализирована эксплуатационная работа однопутного направления в условиях функционирования АБТЦ, ВСЦ пяти поездов, АБТЦ-МШ, КСИР (в виде реализующей концепцию оптоволоконной рефлектометрии системы «Анаконда» [18, 19], которой для аналогичных контрольному режиму рельсовых цепей надежности и гарантии безопасного нахождения нескольких поездов на перегоне надлежит пройти значительное количество исследований, проработок конструкторских решений и испытаний). Основным результатом проведения суточных прогонов является система матриц показателей и конфигурации однопутного направления (рис. 4). Экономический эффект от эксплуатации направления определяется на основе выполненного грузооборота с учетом маршрутной скорости грузовых поездов; расходы на развитие направления определяются инвестициями в строительство дополнительной путевой инфраструктуры, обустройство контактной сети, СИРДП, микропроцессорную централизацию, модернизацию локомотивного хозяйства; для оценки эксплуатационных расходов задействован метод расходных ставок.

Для сравнения двух вариантов оснащения инфраструктуры железнодорожного направления применяется метод определения зон равноэкономических решений, при котором до достижения определенного критического предела грузонапряженности экономически целесообразным является менее капиталоемкий вариант оснащения направления, а после достижения — более капиталоемкий. Например, известно исследование, в котором применение данного метода позволило разграничить зоны целесообразности тепловозной и электровозной тяги [20].

Результаты исследования. Значения выполненных размеров движения грузовых поездов за сутки

(рис. 5), годового грузооборота (рис. 6), маршрутной скорости (рис. 7), числа дополнительных приемо-отправочных путей (длиной 1050 м) на промежуточных и участковой станциях (рис. 8) и потребного количества локомотивов (рис. 9) отражают различия в характеристиках поездопотока при различных сочетаниях стратегий «игрока» и состояний «природы». Общим трендом для каждого показателя является эффективность более прогрессивной СИРДП при более слабом влиянии негативных аспектов и уравнивание до традиционных систем при сильном их влиянии.

При малой интенсивности негативных факторов и для однопутной и для двухпутной конфигураций возможно овладение размерами движения в 52 пары грузовых поездов; при повышении интенсивности данных факторов (главным образом в условиях действия ограничения скоростного режима) для однопутной конфигурации пропуск данных размеров движения в полном объеме в течение моделируемых суток

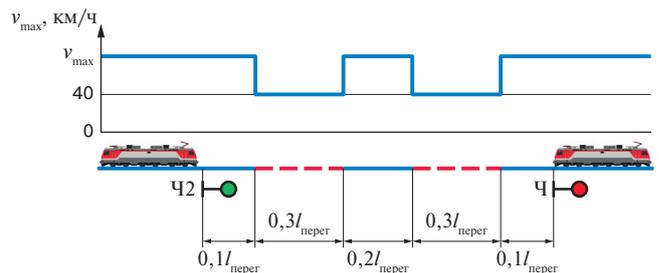


Рис. 3. Расположение зон действия ограничений скорости на перегонах:

 $l_{\text{перег}}$ — протяженность перегона, км

Fig. 3. Location of speed limit zones on space intervals:

 $l_{\text{перег}}$ — length of space interval, km

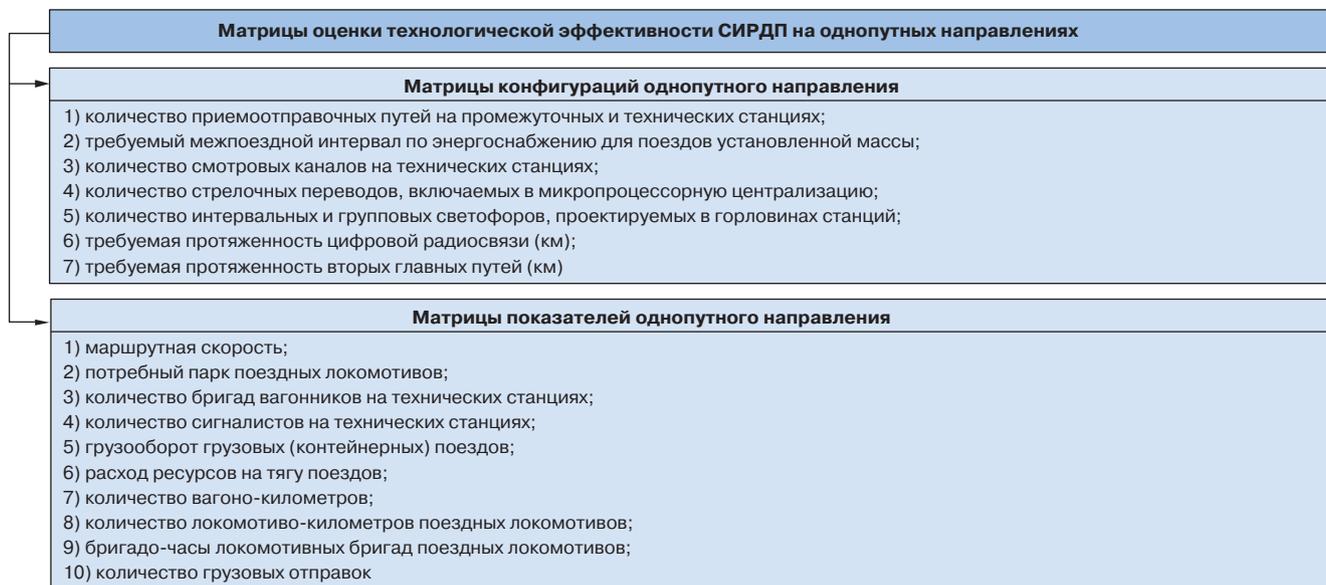


Рис. 4. Схема совокупности матриц для оценки эффективности интервального регулирования движения поездов на однопутных направлениях

Fig. 4. Schematic diagram of the matrix set for evaluating the efficiency of train interval control on single-track lines

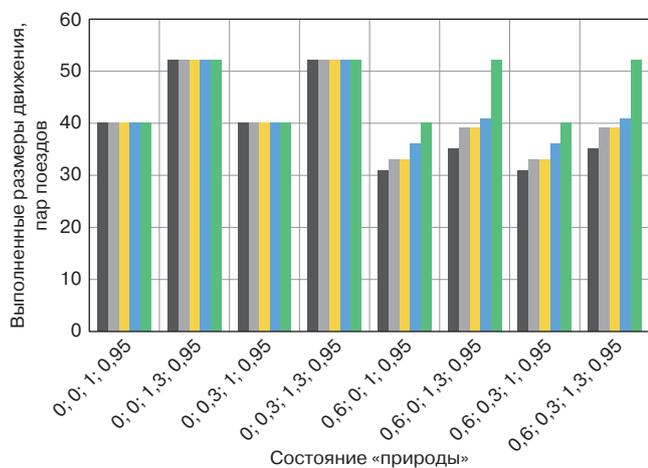


Рис. 5. Выполненные размеры движения грузовых поездов за сутки при различных сочетаниях стратегий «игрока» и состояний «природы»: ■ — АБТЦ (I; 40; 0,25); ■ — ВСЦ (I; 40; 0,25); ■ — АБТЦ-МШ (I; 40; 0,25); ■ — КСИР (I; 40; 0,25); ■ — АБТЦ (II; 40; 0,25); ■ — ВСЦ (I; 40; 0,25) — стратегия «игрока», предполагающая применение ВСЦ при однопутной (I) конфигурации направления, 40 парам грузовых поездов, 0,25 из которых являются контейнерными; 0,6; 0,3; 1,3; 0,95 — состояние «природы» при котором ограничениями скорости охвачено 0,6 протяженности направления, доля поступивших с опозданием поездов составляет 0,3, коэффициент суточной неравномерности поездов равен 1,3, масса брутто грузового поезда составляет 0,95 от нормы

Fig. 5. Executed dimensions of goods train movements per day under different combinations of Player strategies and states of Nature: ■ — FB (I; 40; 0.25); ■ — VC (I; 40; 0.25); ■ — MB (I; 40; 0.25); ■ — CSIR (I; 40; 0.25); ■ — FB (II; 40; 0.25); FB — automatic blocking with fixed blocks; VC — virtual coupling; MB — automatic blocking with moving blocks; CSIR — coordinate system of interval regulation; VC (I; 40; 0.25) — Players strategy assuming application of VC with single-track (I) configuration of the line, 40 pairs of goods trains, 0.25 of which are container trains; 0.6; 0.3; 1.3; 0.95 — state of Nature in which speed restrictions cover 0.6 of the line length, the share of trains arriving late is 0.3, the coefficient of daily irregularity is 1.3, the gross weight of goods train is 0.95 of the norm

оказался невозможен. При этом более совершенная СИРДП для однопутной конфигурации позволяет обеспечить пропуск поездопотоков при незначительном влиянии негативных факторов с большей скоростью (на 36 % относительно классической автоблокировки), в то же время уступая по данному показателю двухпутной конфигурации (скорость ниже на 54 %). Снижение скорости продвижения поездопотока вызывает рост потребного количества поездных локомотивов.

За счет сокращения простоев под скрещением на направлении при более совершенной СИРДП требуется меньшее количество приемоотправочных путей на промежуточных станциях (на 24 % меньше в сравнении с классической автоблокировкой). При этом имеет место снижение количества конфликтных ситуаций между транзитным поездопотоком и местными грузовыми и пассажирскими поездами. При двухпутной конфигурации вследствие движения грузовых поездов в безостановочных зонах для овладения повышенными размерами движения приемоотправочные пути необходимо добавлять только на технических станциях.

Среди рассмотренных дестабилизирующих факторов наиболее негативным влиянием обладают ограничения скорости. При двухпутной конфигурации направления данный фактор резко снижает маршрутную скорость, а при однопутной, помимо замедления поездопотока, является причиной недостаточности пропускной способности, ведущей к увеличению потребности в приемоотправочных путях для размещения «избыточных» поездов.

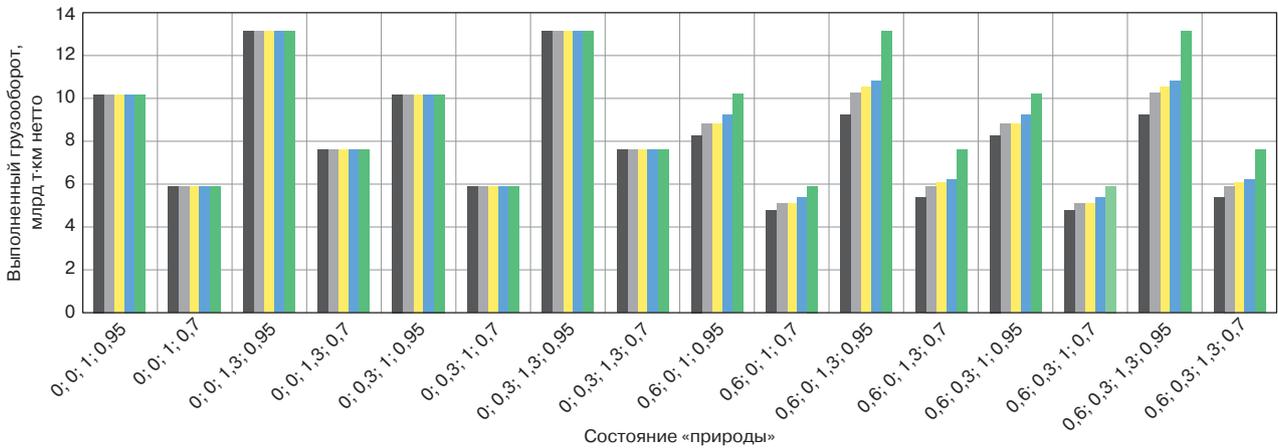


Рис. 6. Выполненный годовой грузооборот при различных сочетаниях стратегий «игрока» и состояний «природы»:
 ■ — АБТЦ (I; 40; 0,25); ■ — ВСЦ (I; 40; 0,25); ■ — АБТЦ-МШ (I; 40; 0,25); ■ — КСИР (I; 40; 0,25); ■ — АБТЦ (II; 40; 0,25)

Fig. 6. Performed annual cargo turnover under different combinations of Player strategies and states of Nature:
 ■ — FB (I; 40; 0.25); ■ — VC (I; 40; 0.25); ■ — MB (I; 40; 0.25); ■ — CSIR (I; 40; 0.25); ■ — FB (II; 40; 0.25)

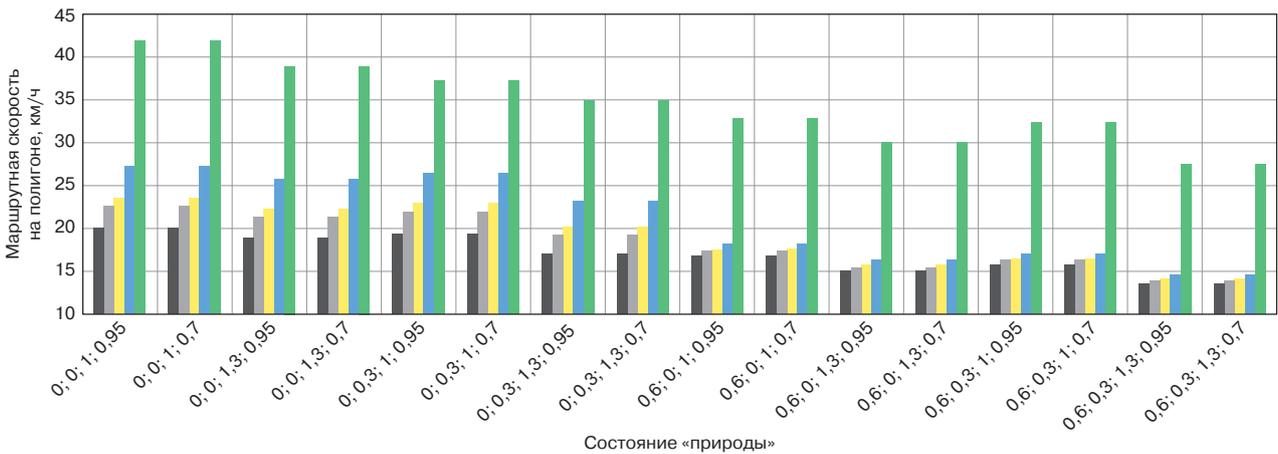


Рис. 7. Маршрутная скорость при различных сочетаниях стратегий «игрока» и состояний «природы»:
 ■ — АБТЦ (I; 40; 0,25); ■ — ВСЦ (I; 40; 0,25); ■ — АБТЦ-МШ (I; 40; 0,25); ■ — КСИР (I; 40; 0,25); ■ — АБТЦ (II; 40; 0,25)

Fig. 7. Routing speed under different combinations of Player strategies and states of Nature:
 ■ — FB (I; 40; 0.25); ■ — VC (I; 40; 0.25); ■ — MB (I; 40; 0.25); ■ — CSIR (I; 40; 0.25); ■ — FB (II; 40; 0.25)

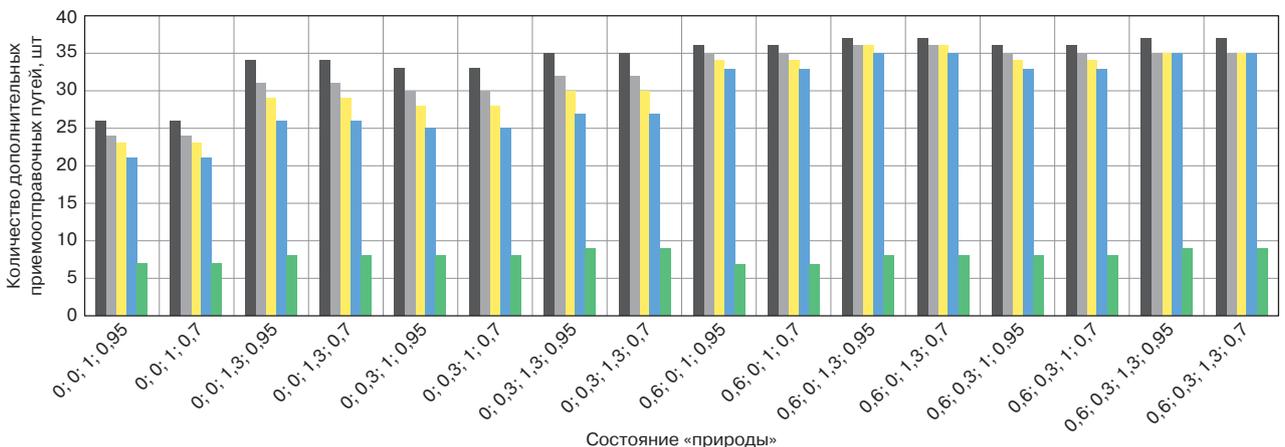


Рис. 8. Требуемое суммарное количество дополнительных приемоотправочных путей на всех станциях при различных сочетаниях стратегий «игрока» и состояний «природы»:
 ■ — АБТЦ (I; 40; 0,25); ■ — ВСЦ (I; 40; 0,25); ■ — АБТЦ-МШ (I; 40; 0,25); ■ — КСИР (I; 40; 0,25); ■ — АБТЦ (II; 40; 0,25)

Fig. 8. Required total number of additional arrival and departure tracks on all stations for different combinations of Player strategies and states of Nature:
 ■ — FB (I; 40; 0.25); ■ — VC (I; 40; 0.25); ■ — MB (I; 40; 0.25); ■ — CSIR (I; 40; 0.25); ■ — FB (II; 40; 0.25)

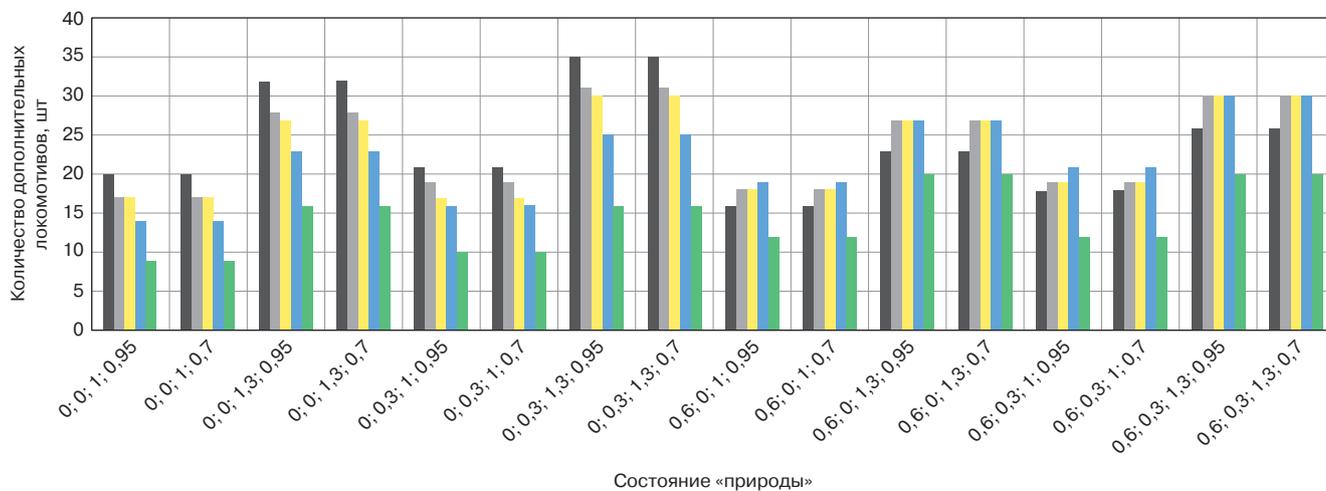


Рис. 9. Требуемое количество локомотивов при различных сочетаниях стратегий «игрока» и состояний «природы»: ■ — АБТЦ (I; 40; 0,25); ■ — ВСЦ (I; 40; 0,25); ■ — АБТЦ-МШ (I; 40; 0,25); ■ — КСИР (I; 40; 0,25); ■ — АБТЦ (II; 40; 0,25)

Fig. 9. Required number of locomotives for different combinations of Player strategies and states of Nature: ■ — FB (I; 40; 0.25); ■ — VC (I; 40; 0.25); ■ — MB (I; 40; 0.25); ■ — CSIR (I; 40; 0.25); ■ — FB (II; 40; 0.25)

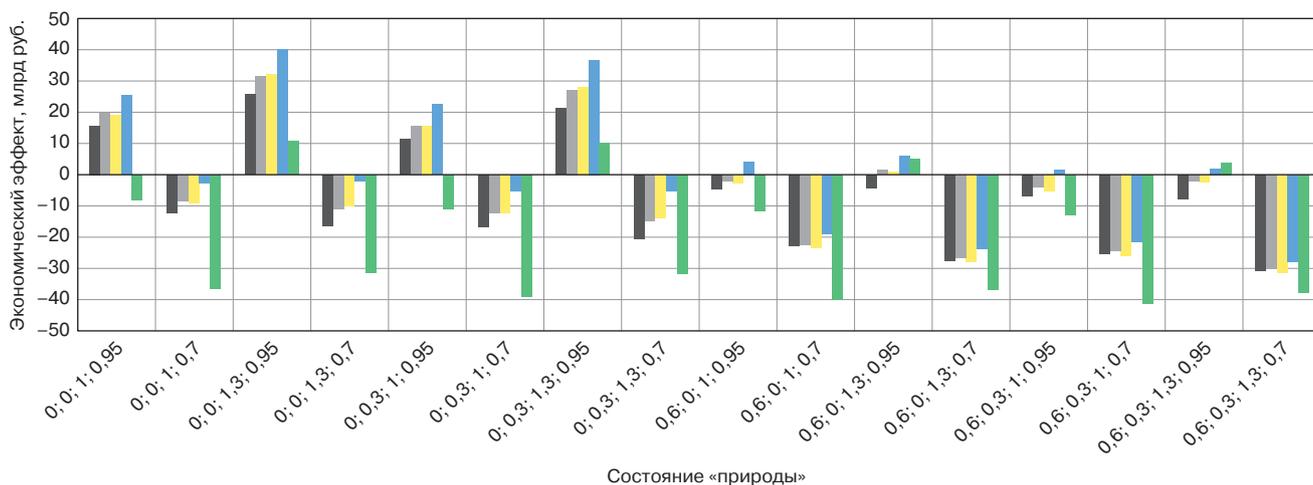


Рис. 10. Экономический эффект за 15 лет эксплуатации при различных сочетаниях стратегий «игрока» и состояний «природы»: ■ — АБТЦ (I; 40; 0,25); ■ — ВСЦ (I; 40; 0,25); ■ — АБТЦ-МШ (I; 40; 0,25); ■ — КСИР (I; 40; 0,25); ■ — АБТЦ (II; 40; 0,25)

Fig. 10. Economic effect over 15 years of operation under different combinations of Player strategies and states of Nature: ■ — FB (I; 40; 0.25); ■ — VC (I; 40; 0.25); ■ — MB (I; 40; 0.25); ■ — CSIR (I; 40; 0.25); ■ — FB (II; 40; 0.25)

Наибольший прирост технологической эффективности между сценариями обеспечивают переходы от АБТЦ к ВСЦ и от АБТЦ-МШ к КСИР. При размерах движения до 52 пар поездов наибольший экономический эффект демонстрирует КСИР, при благоприятных состояниях «природы» максимизируя прибыль (см. рис. 10), а при неблагоприятных — минимизируя потери, что подкреплено оценкой основных критериев игр с «природой» (табл. 3).

Рост потребного количества поездных локомотивов, коррелирующий со снижением маршрутной скорости поездопотока, вместе с потребностью возведения приемоотправочных путей на разъездах для скрещения

пакетов поездов и усиления системы тягового энергоснабжения (посредством увеличения сечения контактной сети на участке постоянного тока и строительства новой тяговой подстанции на участке переменного тока) являются основными источниками расходов при повышении размеров движения на однопутном направлении (рис. 11). При этом в расходах, отраженных на рис. 11, учтены инвестиции в инфраструктуру направления и годовые эксплуатационные расходы за 15 лет эксплуатации.

При размерах движения до 52 пар грузовых поездов на данном направлении оптимальной является однопутная конфигурация в сочетании с применением

Таблица 3

Выбор оптимальной стратегии «игрока» на основе различных критериев

Table 3

Selection of the optimal Player strategy based on various criteria

Критерий	Описание критерия	Оптимальная стратегия	Экономический эффект от применения стратегии, млрд руб.
Лапласа	Поиск максимума математического ожидания выигрыша	КСИР (I, 40; 0,75)	23,9
Вальда	Поиск максимума гарантированного выигрыша	КСИР (I, 28; 0,75)	-2,2
Гурвица	Поиск максимума выигрыша при различном уровне оптимизма	При уровне оптимизма до 0,1: КСИР (I, 28; 0,75)	От -2,2 до 1,3
		При уровне оптимизма от 0,1: КСИР (I, 40; 0,75)	От 5,8 до 66,3
Сэвиджа	Поиск минимума риска	КСИР (I, 40; 0,75)	7,4

Примечание. КСИР (I, 40; 0,75) — стратегия, предполагающая координатное регулирование при однопутной (I) конфигурации, 40 парам грузовых поездов, 0,75 из которых составляют контейнерные поезда.

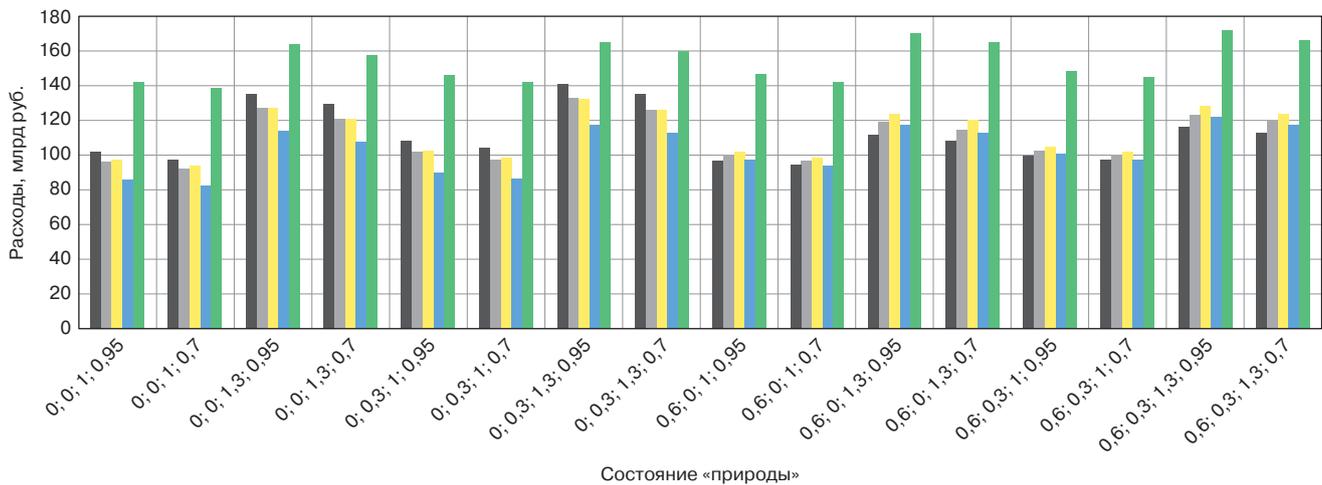


Рис. 11. Расходы за 15 лет эксплуатации при различных сочетаниях стратегий «игрока» и состояний «природы»: ■ — АБТЦ (I; 40; 0,25); ■ — ВСЦ (I; 40; 0,25); ■ — АБТЦ-МШ (I; 40; 0,25); ■ — КСИР (I; 40; 0,25); ■ — АБТЦ (II; 40; 0,25)

Fig. 11. Costs over 15 years of operation under different combinations of Player strategies and states of Nature: ■ — FB (I; 40; 0.25); ■ — VC (I; 40; 0.25); ■ — MB (I; 40; 0.25); ■ — CSIR (I; 40; 0.25); ■ — FB (II; 40; 0.25)

системы «Анаконда», способной в условиях отсутствия негативных факторов обеспечить снижение себестоимости в сравнении с традиционной СИРДП при однопутной конфигурации на 20 %, при двухпутной конфигурации на 55 % (рис. 12).

В соответствии с изменением себестоимости перевозок для однопутной и двухпутной конфигураций направления в условиях роста грузооборота (см. рис. 13) при размерах движения, равных 36 парам поездов, происходит пересечение значений себестоимости перевозок для двухпутной конфигурации в условиях лучшего состояния «природы» и однопутной конфигурации в условиях ее худшего состояния. При больших

размерах движения предельные паспортные значения результирующей пропускной способности направления в условиях однопутной конфигурации окажутся превышены, что повлечет резкий рост себестоимости перевозок как при лучшем, так и при худшем состоянии «природы». В то же время для двухпутной конфигурации при аналогичных размерах движения (вплоть до более значительного количества поездов) продолжится постепенное снижение себестоимости перевозок. При этом себестоимость, отраженная на рис. 12 и 13, учитывает инвестиции в инфраструктуру направления и годовые эксплуатационные расходы за 15 лет эксплуатации.

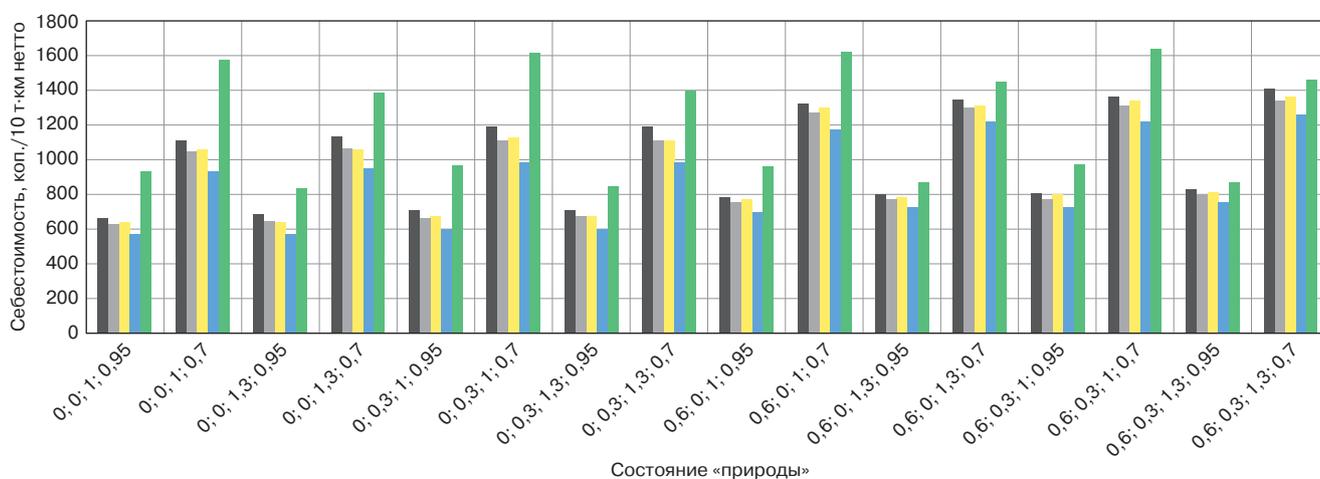


Рис. 12. Себестоимость эксплуатации (с учетом инвестиций) рассмотренного направления в течение 15 лет при различных сочетаниях стратегий «игрока» и состояний «природы»:

■ — АБТЦ (I; 40; 0,25); ■ — ВСЦ (I; 40; 0,25); ■ — АБТЦ-МШ (I; 40; 0,25); ■ — КСИР (I; 40; 0,25); ■ — АБТЦ (II; 40; 0,25)

Fig. 12. Cost of operation (including investment) of the considered line for 15 years under different combinations of Player strategies and states of Nature:

■ — FB (I; 40; 0.25); ■ — VC (I; 40; 0.25); ■ — MB (I; 40; 0.25); ■ — CSIR (I; 40; 0.25); ■ — FB (II; 40; 0.25)

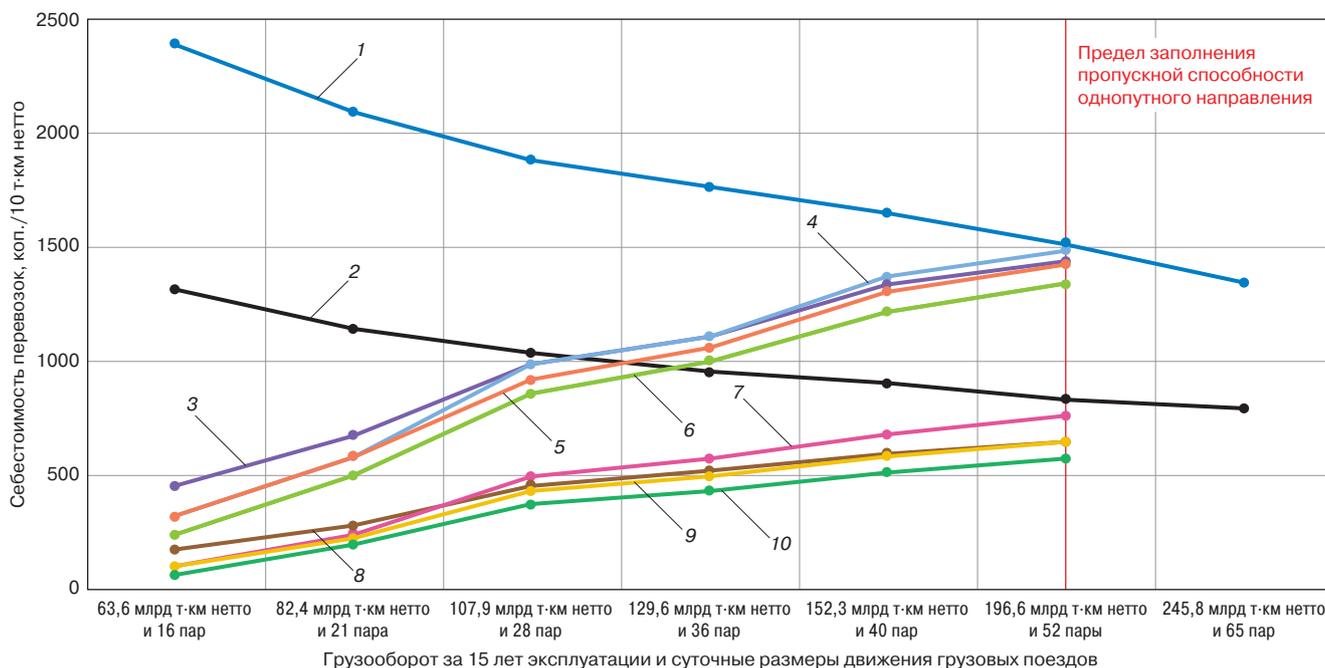


Рис. 13. Сравнение себестоимости перевозок для однопутной и двухпутной конфигураций направления в условиях увеличения размеров движения при лучшем состоянии «природы» (ЛСП) и худшем состоянии «природы» (ХСП):

1 — АБТЦ (II; ХСП); 2 — АБТЦ (II; ЛСП); 3 — АБТЦ-МШ (I; ХСП); 4 — АБТЦ (I; ХСП); 5 — ВСЦ (I; ХСП); 6 — КСИР (I; ХСП); 7 — АБТЦ (I; ЛСП); 8 — АБТЦ-МШ (I; ЛСП); 9 — ВСЦ (I; ЛСП); 10 — КСИР (I; ЛСП); ВСЦ (I; ХСП) — стратегия «игрока», предполагающая применение ВСЦ при однопутной (I) конфигурации направления и худшем состоянии «природы»

Fig. 13. Comparison of transport costs for single-track and double-track line configurations in conditions of increasing traffic sizes under the best state of Nature (BSN) and worst state of Nature (WSN):

1 — FB (II; WSN); 2 — FB (II; BSN); 3 — MB (I; WSN); 4 — FB (I; WSN); 5 — VC (I; WSN); 6 — CSIR (I; WSN); 7 — FB (I; BSN); 8 — MB (I; BSN); 9 — VC (I; BSN); 10 — CSIR (I; BSN); VC (I; WSN) — Player strategy assuming application of VC with single-track (I) configuration of the line and worst state of Nature

Обсуждение и заключение. Применение интервального регулирования на однопутных направлениях способно обеспечить повышение качества перевозочного

процесса, при этом важным условием наиболее полной реализации его потенциала является необходимость повышения технологической дисциплины. Ключевым

		Низкая интенсивность дестабилизирующих факторов		Высокая интенсивность дестабилизирующих факторов	
		Эффективность в качестве «уплотнителя» поездопотока	Эффективность в качестве «ускорителя» поездопотока	Влияние на пропускную способность в качестве «буфера»	Влияние на скорость потока поездов в качестве «буфера»
Низкие размеры движения	СИРДП, один путь	Минимальная эффективность	Минимальная эффективность	Наибольшая минимизация потерь	Частичная минимизация потерь
	Два пути	Минимальная эффективность	Минимальная эффективность	Наибольшая минимизация потерь	Наибольшая минимизация потерь
Высокие размеры движения	СИРДП, один путь	До избыточных размеров движения — значительная	Относительно значительная эффективность	Значительная минимизация потерь	Частичная минимизация потерь
	Два пути	Максимальная эффективность	Максимальная эффективность	Наибольшая минимизация потерь	Наибольшая минимизация потерь

Рис. 14. Матрица сравнительной эффективности однопутной конфигурации при действии перспективных систем интервального регулирования и двухпутной конфигурации

Fig. 14. Matrix of comparative efficiency of single-track configuration under the action of perspective systems of train interval control and double-track configuration

аспектом анализа целесообразности СИРДП при отклонениях в поездной работе является имитационное моделирование. Предлагаемый метод моделирования делает возможным достижение синергии процессного моделирования, агентной парадигмы и системной динамики. Объединение результатов моделирования в матрицы показателей и конфигурации обеспечивает наглядность сравнения различных поездных ситуаций.

При двухпутной конфигурации направления негативные факторы снижают маршрутную скорость, а при однопутной обуславливают и дефицит пропускной способности, ведущий к увеличению объема потребной инфраструктуры. Улучшение показателей и снижение потребностей в инфраструктуре обеспечивают переходы от АБТЦ к ВСЦ и от АБТЦ-МШ к КСИР. Благодаря возможности обеспечения минимального интервала между поездами в пакете и сопоставимым с другими СИРДП капитальным вложениям до достижения предельного коэффициента заполнения результирующей пропускной способности однопутного направления наибольшую технико-экономическую эффективность демонстрирует КСИР.

До определенных размеров движения СИРДП могут являться эффективным инструментом интенсификации эксплуатационной работы однопутного направления (рис. 14), позволяющим сократить увеличение его инфраструктуры. Проведенное исследование позволило обеспечить наглядное сравнение каждой из систем, его инструментарий может быть использован для других направлений в условиях более широкого спектра решений (полуавтоматической

блокировки при счетчиках осей и автоматических блок-постах, частичного внедрения двухпутных перегонов и вставок и др.).

В работе рассмотрено влияние дестабилизирующих факторов (как каждого в отдельности, так и их совокупности). Достоинство предлагаемой методики заключается в существенном сокращении неопределенности касательно оценки эффективности СИРДП. При этом формирование матриц является достаточно трудоемким процессом, в связи с чем требуется выделение приоритетных сочетаний, на основе которых будут формироваться границы эффективности различных стратегий эксплуатации однопутного направления.

Благодарности: авторы выражают благодарность рецензентам за полезные замечания, способствовавшие улучшению статьи.

Acknowledgments: the authors express their gratitude to the reviewers for their constructive comments, improving the quality of the article.

Финансирование: авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding: the authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest and no financial interests in any material discussed in this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бушуев С. В., Ковалев И. А. Восстановление движения после отказов с применением виртуальной сцепки поездов // Автоматика на транспорте. 2024. Т. 10, № 1. С. 64–73. <https://doi.org/10.20295/2412-9186-2024-10-01-64-73>.
- Bushuev S. V., Kovalev I. A. Restoration of traffic after failures using a virtual train coupling. *Automation on transport*. 2024;10(1):64-73. (In Russ.). <https://doi.org/10.20295/2412-9186-2024-10-01-64-73>.
2. Сравнительная оценка параметров движения поездов для различных вариантов виртуальной сцепки / Е. Н. Розенберг [и др.] // Мир транспорта. 2023. Т. 21, № 4. С. 30–39. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-4>.
- Rozenberg E. N., Ozerov A. V., Kusnetsov V. I., Tikhonov S. S. Comparison of Train Traffic Parameters for Various Virtual Coupling Use Cases. *World of Transport and Transportation*. 2023;21(4):30-39. (In Russ.). <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-4>.
3. Чепцов М. Н., Сорокин В. Е. Расчет максимального времени отсутствия радиосвязи в системах интервального регулирования движения поездов на базе цифрового радиоканала // Известия Транссиба. 2020. № 4(44). С. 127–134. EDN: <https://elibrary.ru/hovrhl>.
- Cheptsov M. N., Sorokin V. E. Calculation of the maximum admissible time of radio communication absence in the systems of interval regulation of train traffic on the basis of a digital radio channel. *Journal of Transsib Railway Studies*. 2020;(4):127-134. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/hovrhl>.
4. Бессоненко С. А., Климова Е. В., Осипов Н. И. Оценка эффективности интервального регулирования движения поездов // Транспорт Урала. 2023. № 3(78). С. 35–45. <https://doi.org/10.20291/1815-9400-2023-3-35-45>.
- Bessonenko S. A., Klimova E. V., Osipov N. I. Evaluating the efficiency of interval train control. *Transport of the Urals*. 2023;(3):35-45. (In Russ.). <https://doi.org/10.20291/1815-9400-2023-3-35-45>.
5. Бессоненко С. А., Осипов Н. И., Медведев В. И. Оценка эффективности интервального регулирования движения поездов как альтернативы сооружению вторых главных путей // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2023. № 4(67). С. 21–29. https://doi.org/10.52170/1815-9265_2023_67_21.
- Bessonenko S. A., Osipov N. I., Medvedev V. I. Evaluating the effectiveness of interval train control as an alternative to the constructing second main tracks. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2023;(4):21-29. (In Russ.). https://doi.org/10.52170/1815-9265_2023_67_21.
6. Diaz de Rivera A., Dick C. T., Evans L. E. Improving Railway Operational Efficiency with Moving Blocks, Train Fleeting, and Alternative Single-Track Configurations. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2020;2674(2):146-157. <https://doi.org/10.1177/0361198120905842>.
7. Diaz de Rivera A., Dick C. T., Parkes M. M. Balancing the Service Benefits and Mainline Delay Disbenefits of Operating Shorter Freight Trains. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2021;2675(10):303-316. <https://doi.org/10.1177/03611981211011484>.
8. Dick C. T., Mussanov D., Evans L. E., Roscoe G. S., Chan T. Y. Relative Capacity and Performance of Fixed and Moving Block Control Systems on North American Freight Railway Lines and Shared Passenger Corridors. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2019;2673(5):250-261. <https://doi.org/10.1177/0361198119841852>.
9. Батуринов А. П., Осипов А. П. Современные системы интервального регулирования движения поездов железных дорог мира // Мир транспорта. 2023. Т. 21, № 2(105). С. 18–26. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-2-2>.
- Baturin A. P., Osipov A. P. Modern Systems of Train Traffic Interval Control on World Railways. *World of Transport and Transportation*. 2023;21(2):18-26. (In Russ.). <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-2-2>.
10. Черняк А. Р., Карасев С. В. Разработка структуры модели специализированной грузовой железнодорожной линии с группировкой функциональных задач // Транспорт: наука, техника, управление: научный информационный сборник. 2024. № 2. С. 24–34. <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2024-02-4>.
- Chernyak A. R., Karasev S. V. Development the model structure of a specialized freight railway line with grouping of functional tasks. *Transport: science, equipment, management. Scientific Information Collection*. 2024;(2):24-34. (In Russ.). <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2024-02-4>.
11. Методика увеличения пропускной способности линии при росте объема перевозок / Г. М. Грошев [и др.] // Транспорт Российской Федерации. 2019. № 5(84). С. 26–29. EDN: <https://elibrary.ru/hfiemx>.
- Groshev G. M., Sugorovskiy A. V., Grachev A. A., Al'-Shumari A. S., Abdullaev Z. Ya. A method for increasing line throughput capacity in the instance of traffic volume increase. *Transport of the Russian Federation*. 2019;(5):26-29. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/hfiemx>.
12. Корниенко Н. В., Мехедов М. И. Выбор системы интервального регулирования движения поездов в условиях возрастающих потребностей освоения прогнозируемых объемов перевозок // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2022. Т. 81, № 1. С. 63–70. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-1-63-70>.
- Kornienko N. V., Mekhedov M. I. Choice of the interval traffic control system in terms of increasing demands for the coverage of forecast traffic volumes. *Russian Railway Science Journal*. 2022;81(1):63-70. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-1-63-70>.
13. Левин Д. Ю. Расчет и оценка эффективности использования перевозочных возможностей железных дорог // Наука и технологии железных дорог. 2023. Т. 7, № 3(27). С. 8–17. EDN: <https://elibrary.ru/wxtmrc>.
- Levin D. Yu. Calculation and evaluation of the effectiveness of the use of transportation capabilities of railways. *Nauka i tekhnologii zheleznikh dorog*. 2023;7(3):8-17. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/wxtmrc>.
14. Бушуев С. В., Голочалов Н. С. Моделирование движения поезда на основе применения статистических данных // Инновационный транспорт. 2024. № 1(51). С. 52–57. <https://doi.org/10.20291/2311-164X-2024-1-52-57>.
- Bushuev S. V., Golochalov N. S. Train movement simulation based on the application of statistical data. *Innotrans Journal*. 2024;(1):52-57. (In Russ.). <https://doi.org/10.20291/2311-164X-2024-1-52-57>.
15. Осипов Н. И. Теоретико-игровой подход при выборе оптимальной системы интервального регулирования движения поездов на однопутных железнодорожных линиях // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2024. № 2(69). С. 80–88. https://doi.org/10.52170/1815-9265_2024_69_80.
- Osipov N. I. Game-theoretic approach to selecting the optimal system of train traffic interval regulation on single-track railway lines. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2024;(2):80-88. (In Russ.). https://doi.org/10.52170/1815-9265_2024_69_80.
16. Об использовании теории игр при оптимизации процесса технической эксплуатации систем железнодорожной автоматики и телемеханики / А. В. Горелик [и др.] // Наука и техника транспорта. 2023. № 1. С. 19–28. EDN: <https://elibrary.ru/queekif>.
- Gorelik A. V., Istomin A. V., Kuzmina E. V., Malykh A. N. On game theory application in optimizing technical operation process of railway automation and telemechanics systems. *Nauka i tekhnika transporta*. 2023;(1):19-28. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/queekif>.
17. Сотников Е. А., Шенфельд К. П. Неравномерность грузовых перевозок в современных условиях и ее влияние на требуемую пропускную способность участков // Вестник Научно-исследовательского

института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2011. № 5. С. 3–9. EDN: <https://elibrary.ru/ojiryh>.

Sotnikov E. A., Shenfeld K. P. Irregularity of freight transportation under contemporary conditions and its influence on required traffic capacity of line sections. *Russian Railway Science Journal*. 2011;(5):3-9. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/ojiryh>.

18. Белоголов Ю. И., Гозбенко В. Е. Моделирование поездопотоков на участке Усть-Илимск — Хребтовая с целью увеличения пропускной способности // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2022. № 4 (63). С. 28–35. https://doi.org/10.52170/1815-9265_2022_63_28.

Belogolov Yu. I., Gozbenko V. E. Simulation of train flows on the section Ust-Ilimsk — Khrebtovaya to increase throughput. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2022;(4):28-35. (In Russ.). https://doi.org/10.52170/1815-9265_2022_63_28.

19. Розенберг Е. Н., Коровин А. С. Глобальные тренды развития интеллектуальных транспортных систем // Автоматика, связь, информатика. 2018. № 12. С. 14–19. EDN: <https://elibrary.ru/vtdxbv>.

Rosenberg E. N., Korovin A. S. Global development trends of intellectual transport systems. *Automation, Communications, Informatics*. 2018;(12):14-19. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/vtdxbv>.

20. Негрей В. Я., Масловская М. А. Сфера равноэкономических решений целесообразного использования тепловозной и электрической тяги на Белорусской железной дороге // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. 2018. № 2 (37). С. 82–84. EDN: <https://elibrary.ru/ywiilr>.

Negrey V. Ya., Maslovskaya M. A. Sphere of equal economic solutions of the appropriate use of diesel and electric traction on the Belarusian railway. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta transporta: nauka i transport*. 2018;(2):82-84. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/ywiilr>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сергей Анатольевич БЕССОНЕНКО, д-р техн. наук, профессор кафедры «Управление эксплуатационной работой», Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, д. 191), Author ID: 719058, <https://orcid.org/0000-0001-5782-1596>

Екатерина Викторовна КЛИМОВА, канд. экон. наук, доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой», Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, д. 191), kate-kitton@yandex.ru, Author ID: 727665, <https://orcid.org/0000-0003-2336-1549>

Николай Игоревич ОСИПОВ, преподаватель, кафедра «Управление эксплуатационной работой», Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, д. 191), N-I-Osipov@yandex.ru, Author ID: 1158066, <https://orcid.org/0000-0002-3278-6330>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey A. BESSONENKO, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Operations Management Department, Siberian Transport University (630049, Novosibirsk, 191, Dusi Kovalchuk St.), Author ID: 719058, <https://orcid.org/0000-0001-5782-1596>

Ekaterina V. KLIMOVA, Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor of the Operations Management Department, Siberian Transport University (630049,

Novosibirsk, 191, Dusi Kovalchuk St.), kate-kitton@yandex.ru, Author ID: 727665, <https://orcid.org/0000-0003-2336-1549>

Nikolay I. OSIPOV, Lecturer, Operations Management Department, Siberian Transport University (630049, Novosibirsk, 191, Dusi Kovalchuk St.), N-I-Osipov@yandex.ru, Author ID: 1158066, <https://orcid.org/0000-0002-3278-6330>

ВКЛАД АВТОРОВ

Сергей Анатольевич БЕССОНЕНКО. Формирование направления исследования, формулировка цели и задач, обозначение алгоритма исследования, формулирование выводов (38%).

Екатерина Викторовна КЛИМОВА. Адаптация методики определения экономической эффективности развития железнодорожной инфраструктуры для оценки целесообразности внедрения систем интервального регулирования движения поездов на однопутном направлении (25%).

Николай Игоревич ОСИПОВ. Обзор существующих исследований по оценке эффективности интервального регулирования на однопутных направлениях, подготовка исходных данных для выполнения имитационного моделирования, разработка имитационной модели однопутного направления, выполнение прогонов разработанной модели, сбор и обработка статистических данных, построение сферы равноэкономических решений целесообразного использования интервального регулирования и строительства вторых главных путей (37%).

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Sergey A. BESSONENKO. Formulation of research focus, formulation of the goal and objectives, designation of the research algorithm, conclusions (38%).

Ekaterina V. KLIMOVA. Adaptation of the methodology of economic assessment of railway infrastructure development to assess the feasibility of introducing train interval control systems on a single-track line (25%).

Nikolay I. OSIPOV. Review of existing research on the evaluation of interval control performance on single-track lines, preparation of raw data for simulation, development of a simulation model of a single-track line, runs of the developed model, collection and processing of statistical data, drafting the equal economic solution sphere of feasible use of interval control and construction of second main tracks (37%).

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 11.09.2024, рецензия от первого рецензента получена 30.09.2024, рецензия от второго рецензента получена 01.10.2024, рецензия от третьего рецензента получена 09.10.2024, рецензия от четвертого рецензента получена 11.10.2024, принята к публикации 24.10.2024.

The article was submitted 11.09.2024, first review received 30.09.2024, second review received 01.10.2024, third review received 09.10.2024, fourth review received 11.10.2024, accepted for publication 24.10.2024.