

УДК 656.222.6

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОВОЗНОЙ СПОСОБНОСТИ УЧАСТКОВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

БУШУЕВ Сергей Валентинович, канд. техн. наук, проректор по научной работе, доцент кафедры;
e-mail: SBushuev@usurt.ru

Уральский государственный университет путей сообщения, кафедра «Автоматика, телемеханика и связь на железных дорогах», Екатеринбург

В статье рассмотрены три направления повышения провозной (пропускной) способности: увеличение длины поезда, скорости движения и снижение интервала между поездами. На основе статистических данных определены достигнутые показатели в этих направлениях и потенциал их роста. Установлена зависимость провозной (пропускной) способности участка железной дороги от исследуемых параметров. Предложен способ группового автоведения поездов как развитие применяемой технологии виртуальной сцепки. Представлены возможности и условия сокращения межпоездного интервала в зависимости от применяемой системы интервального регулирования и расширения ее возможностей за счет группового автоведения. Построены зависимости, демонстрирующие повышение провозной способности за счет интервального регулирования и увеличения длины поезда. Определен потенциал роста провозной способности за счет применения группового автоведения.

Ключевые слова: провозная и пропускная способность железных дорог; межпоездной интервал; системы интервального регулирования; виртуальная сцепка; групповое автоведение поездов; унифицированные, тяжеловесные и длинносоставные поезда; скорость движения поездов.

DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-04-343-353

▼ Введение

Конечная цель транспорта — перевозка грузов и пассажиров, поэтому провозная способность как комплексный показатель лучше отражает возможности участков железных дорог, чем пропускная способность. Однако анализ путей повышения провозной способности затруднен обилием влияющих факторов [1–3]. Так, средний вес поезда может увеличиваться при увеличении нагрузки на ось или за счет увеличения длины поезда и даже за счет снижения порожнего пробега. С другой стороны, можно повысить провозную способность за счет пропускной способности — увеличивая участковую скорость, снижая расстояния (интервал) между поездами, а также повышая надежность работы устройств или совершенствуя технологии обслуживания и ремонта (уменьшая время технологических перерывов в движении). Увеличение участковой скорости связано с технологией организации движения и развитием инфраструктуры, а также с технической скоростью движения. Нельзя не принимать во внимание наличие связи между массой поезда и его технической скоростью [4] или

между длиной поезда и межпоездным интервалом и т. п.

Рассмотрим пути повышения провозной способности по нескольким факторам, на которые можно влиять с помощью систем автоматики на поле или на борту локомотива, а также для сравнения один из наиболее популярных методов — увеличение массы поезда за счет увеличения длины состава (тяжеловесное движение или вождение соединенных поездов) [3, 5]. Далее будем рассматривать двухпутный участок, так как на нем влияние систем автоматики на провозную способность ярче выражено.

1. Развитие автоматики на локомотиве и систем интервального регулирования

В последнее десятилетие уровень автоматизации локомотива и развития радиосвязи достиг критически важного уровня [6, 7], который позволил начать массовое внедрение автоведения и технологии движения в виртуальной сцепке [8]. С 2018 года на Восточном полигоне предполагается движение двух поездов в виртуальной сцепке [9], а с 2020 года начались эксперименты по автоведению нескольких поездов в виртуальной сцепке [10]. В настоящее

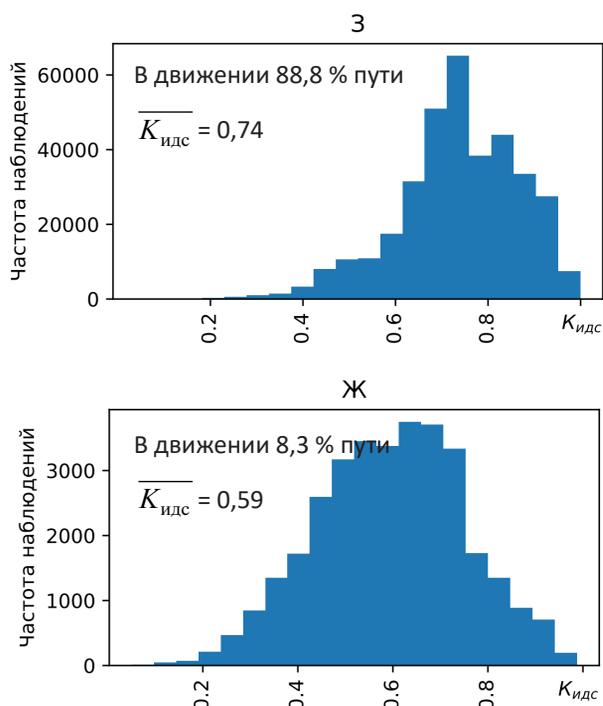


Рис. 1. Коэффициент использования разрешенной скорости на участке:

- З — количество случаев движения на зеленое показание локомотивного светофора;
- Ж — количество случаев движения на желтое показание локомотивного светофора

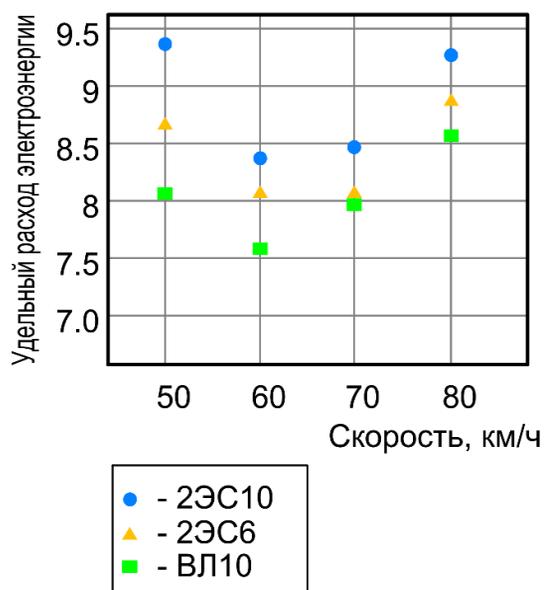


Рис. 2. Удельный расход энергии локомотивами (по результатам тяговых расчетов в программе КОРТЭС на одном из участков железной дороги), Вт · ч/т · км

время движение поездов осуществляется на расстоянии 6–8 км, соответствующем трехблочному разграничению на участках, оборудованных трехзначной автоблокировкой. При

этом использование технологии виртуальной сцепки дает увеличение провозной способности на 10–12 % [11–13].

Теоретически, при ведении поезда в ручном режиме, можно было бы проехать с тем же интервалом (6–8 км), однако в силу психологических причин при недостатке информации о ходе впередиидущего поезда фактически пакет поездов растягивается.

На рис. 1 приведена статистика коэффициента использования допустимой скорости движения поезда по данным регистратора локомотива. Под коэффициентом использования допустимой скорости ($K_{идс}$) в данном случае понимается отношение фактической скорости к допустимой (программной скорости САУТ¹). Данные получены путем обработки записей 100 поездов грузовых поездов на высокозагруженных участках Свердловской железной дороги. С целью исключения влияния переходных процессов при разгоне и торможении измерение $K_{идс}$ проводилось каждые 100 м и в статистике учитывалось только в том случае, если скорость на этом 100-метровом участке была постоянной.

Из приведенных данных (см. рис. 1) видно, что при преимущественной разрешенной скорости, например 80 км/ч, в среднем ходовая скорость грузовых поездов — 59,2 км/ч, что неизбежно приводит к необоснованному снижению технической скорости и потере пропускной/провозной способности участка. Корреляция участковой и технической скорости многократно доказана разными авторами [14, 15], однако машинисты объясняют нежелание ехать с большей скоростью опасением, что «все равно придется останавливаться из-за нагона впередиидущего поезда или неготовности станции к приему, энергии сожжешь больше, а пользы не будет».

Более вероятной причиной все же является система стимулирования машинистов за экономию энергии. На рис. 2 представлены результаты расчетов удельного расхода электроэнергии на

¹САУТ — система автоматического управления торможением поездов, которая в зависимости от заданного маршрута (показания светофора), тормозных свойств и ординаты поезда рассчитывает максимально допустимую (программную) скорость для безопасного движения в каждый момент времени.

Сравнение интервалов разграничения между поездами

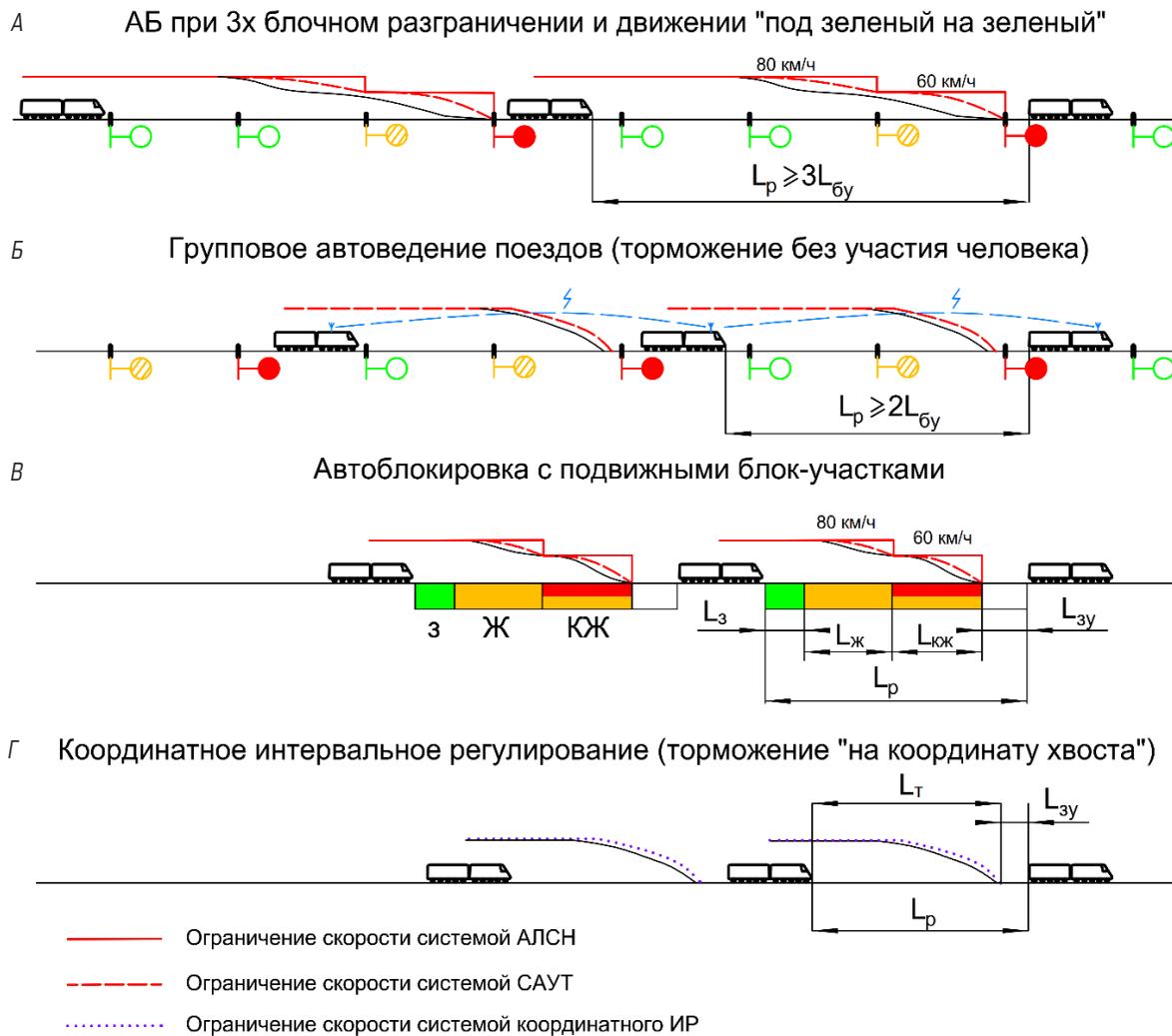


Рис. 3. Разграничивающее поезда расстояние L_p при разных СИР:
 $L_{бу}$ — длина блок-участка автоблокировки; $L_3, L_ж, L_{кж}$ — длина участка, кодируемого кодами З, Ж или КЖ соответственно; L_T — длина тормозного пути; $L_{зy}$ — длина защитного участка

тягу поездов в программе КОРТЭС² в зависимости от заданного ограничения скорости движения на участке при прочих равных условиях, откуда видно, что минимум удельного расхода приходится на скорость движения 60 км/ч, а при увеличении скорости до 80 км/ч удельный расход увеличивается на 11 %. Поэтому одной из задач исследования становится обоснование целесообразности повышения скорости с точки зрения провозной способности при заданных свойствах локомотивов.

² КОРТЭС — программный комплекс для тяговых и электрических расчетов, разработанный ВНИИЖТ.

Совершенствование систем автоматики расширяет возможности по снижению интервала между поездами [16], что приводит к увеличению пропускной способности, например системы автоблокировки с «плавающим» блок-участком [17] или координатные системы интервального регулирования (СИР) с использованием радио-блок центра и цифровой радиосвязи [18].

Однако в этом исследовании предлагается сконцентрировать внимание на «нетрадиционный», но доступный уже сейчас вариант уменьшения межпоездного интервала — применение технологии виртуальной сцепки на

участках с классической автоблокировкой. В ближайшее время развитие виртуальной сцепки приведет к последовательному переходу от вождения двух поездов к вождению группы поездов с дальнейшей трансформацией алгоритмов виртуальной сцепки в алгоритмы группового автоведения поездов, которые будут оптимизировать расстояние между последовательно движущимися поездами с целью максимального использования всех возможностей пропускной способности участка.

На рис. 3, *А* представлены интервалы движения на участке, оборудованном трехзначной автоблокировкой при «классическом» трехблочном разграничении. Изначально применяемая автоблокировка была спроектирована, чтобы обеспечить:

- безопасный интервал между поездами, поэтому длина блок-участка выбирается не менее длины тормозного пути при максимальной возможной скорости движения;

- межпоездной интервал 6–8 мин. при трехблочном разграничении.

Фактически в ручном режиме ведения поезда на грузонапряженных участках удается обеспечить средний интервал между поездами 8–10 мин. Кроме указанной выше причины (движение со сниженной скоростью), влияет также преждевременное снижение скорости машинистами при проблеске желтого огня и ограничение скорости проследования желтого сигнала 60 км/ч, установленное еще на заре внедрения автоблокировки с целью повышения безопасности движения.

В современных условиях, когда все поезда оборудованы системой САУТ, обеспечивающей автоматическое прицельное торможение перед запрещающим показанием, есть возможность по снятию ограничения 60 км/ч при проследовании желтого сигнала без снижения безопасности движения, для массового использования нужны только изменения в нормативной базе. Самый важный шаг в этом направлении уже сделан: в новых Правилах технической эксплуатации поездов, оборудованных устройствами безопасности, обеспечивающими контроль допустимой скорости движения, разрешается проследование светофора с одним желтым (немигающим) огнем со скоростью, определяемой устройством

безопасности, но не более 80 км/ч. Это обстоятельство совместно с применением технологии виртуальной сцепки (согласование скоростей последовательно движущихся поездов с использованием радиоканала) обеспечивает новые возможности — движение с установленной скоростью при двухблочном разграничении (рис. 3, *Б*). В этом случае реально можно снизить интервал между поездами в пакете до 3–5 мин. (без учета ограничений со стороны энергоснабжения на электрифицированных участках и станций, требующих изменения скорости движения поездов, движущихся в виртуальной сцепке). Этот эффект достигается как за счет сокращения разграничивающего расстояния между поездами до двух блок-участков автоблокировки, так и за счет повышения скорости движения при автоведении из-за исключения субъективных факторов при выборе скорости движения.

Для сравнения также рассмотрим автоматическую блокировку с подвижным блок-участком (рис. 3, *В*) и координатную СИР (рис. 3, *Г*). Для координатной системы необходимо учитывать длину тормозного пути при наихудших условиях и длину защитного участка не менее точности прицельного торможения этой системы. А вот сложность сравнения с автоматической блокировкой с подвижным блок-участком определяется разнообразием возможных проектных решений по выбору длин рельсовой цепи (РЦ) и количеством РЦ, кодируемых одним кодом. В любом случае одновременно должны обеспечиваться следующие условия:

- длина защитного участка — не менее длины полного служебного торможения с 60 до 0 км/ч;

- длина участка, кодируемого кодом КЖ, — не менее длины полного служебного торможения с максимальной разрешенной скорости на участке до нуля;

- длина участка, кодируемого кодом Ж, — не менее расстояния, необходимого для снижения скорости, с максимальной до 60 км/ч.

Например, при интенсивном пригородном движении РЦ могут быть менее 200 м, но для нашей задачи, сравнения провозной способности участков, целесообразно рассматривать длину РЦ, кратную тормозному пути грузового

поезда при нормативном тормозном коэффициенте (0,33) и наибольшем уклоне исследуемого участка (−8 ‰), при заданной максимальной разрешенной скорости (80 км/ч). В табл. 1 приведены длины тормозных путей из Приложения 6 Правил технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами подвижного состава, на основании которых для моделирования автоблокировки с плавающим блок-участком примем длину рельсовой цепи равной 600 м.

Тогда количество РЦ для расчетов разграничивающего расстояния будет:

- кодируемых кодом З, кодом Ж и не кодируемых (защитный блок-участок) — по одной;
- кодируемых кодом КЖ — две.

2. Модель оценки влияния разграничивающих интервалов СИР, скорости и длины поезда на провозную способность участка

Преобразуем известную формулу провозной способности (1) так, чтобы выделить рассматриваемые переменные факторы: скорость, длину поезда и разграничивающий интервал системы интервального регулирования.

$$\Gamma = QN_{гр}, \tag{1}$$

где Γ — суточная провозная способность участка;

Q — средний вес поезда нетто;

$N_{гр}$ — количество грузовых поездов.

$$Q = N_{в}M_{в} = \frac{L_{п}}{l_{в}}M_{в}, \tag{2}$$

где $N_{в}$ — среднее число вагонов в поезде;

$L_{п}$ — длина поезда;

$l_{в}$ — средняя длина вагона;

$M_{в}$ — средняя масса груза в вагоне.

Для анализа качественных зависимостей будем рассматривать участок с грузовым движением при параллельном графике движения, тогда можно заменить количество грузовых поездов на пропускную способность участка:

$$N_{гр} = n = \frac{(1440 - t_{тех})\alpha_{н}}{I_{ир}} = \frac{T_{дв}}{I_{ир}}, \tag{3}$$

Таблица 1. Тормозной путь грузового поезда

	Тормозной путь, м	
	Уклон 0	Уклон −8 ‰
Тормозной путь с 80 до 60 км/ч	371	487
Тормозной путь с 80 до 0 км/ч	833	1067
Тормозной путь с 60 до 0 км/ч	462	580

где $t_{тех}$ — время технологических окон

$\alpha_{н}$ — коэффициент, учитывающий роль надежности устройств в снижении пропускной способности;

$T_{дв}$ — время в минутах, в течение которого возможно движение;

$I_{ир}$ — интервал автоблокировки или другой СИР в минутах.

Выразим интервал СИР через длину поезда $L_{п}$, расстояние, разделяющее поезда $L_{р}$ и скорость движения V :

$$I_{ир} = \frac{L_{п} + L_{р}}{V}. \tag{4}$$

Подставим формулы 2–4 в (1) и заменим величины, значения которых будем считать неизменными ($M_{в}$, $l_{в}$, $T_{дв}$) в дальнейшем исследовании нормирующим коэффициентом K :

$$\Gamma = \frac{VL_{п}}{L_{п} + L_{р}}K. \tag{5}$$

Следует также сформулировать и другие допущения при анализе провозной способности:

– ограничений со стороны энергоснабжения нет, что может быть обеспечено автономной тягой или усилением электроснабжения;

– известным статистическим фактом снижения участковой скорости при увеличении массы/длины поезда пренебрегаем. Это значит, что мощности локомотивов достаточно, чтобы с поездом заданной массы преодолевать участок без снижения скорости на подъемах, что также возможно при правильном выборе локомотива.

Выражение (5) удобнее анализировать в относительных единицах Γ/Γ_0 , поэтому примем за базу провозную способность Γ_0 для трехзначной автоблокировки с трехблочным разграничением и средней длиной блок-участка 1800

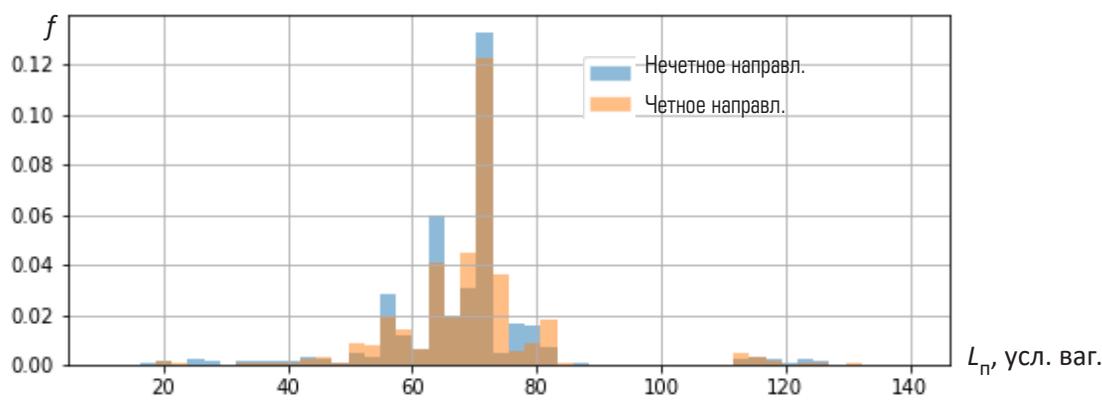


Рис. 4. Плотность распределения длин поездов в условных вагонах на исследуемом участке

м, длину поезда 71 условный вагон. Скорость при определении Γ_0 будем выбирать в зависимости от анализируемого фактора.

Далее на графиках будем отображать:

$$\frac{\Gamma}{\Gamma_0} = \frac{VL_{п}}{L_{п} + L_{р}} \frac{K}{\Gamma_0}, \quad (6)$$

3. Влияние скорости движения на провозную способность участка

С учетом выражения (6) увеличение скорости движения ведет к пропорциональному увеличению провозной способности

$$\frac{\Gamma}{\Gamma_0} = \frac{K_{гв}V}{V_0}, \quad (7)$$

где $K_{гв}$ — коэффициент пропорциональности.

Если принять в качестве V_0 среднестатистическую скорость на участках с равномерным движением (рис. 1, 3) 60 км/ч, то при условии достаточной пропускной способности станций на участке можно сделать вывод, что потенциал роста провозной способности в этом случае до 33 % за счет внедрения автоведения, исключая человеческого фактор и обеспечивающего максимальную разрешенную скорость движения на большей части пути. При этом расход энергии вырастет на 12 %, поэтому повышение скорости движения в режиме автоведения до 80 км/ч будет выгодно.

4. Влияние длины поезда на провозную способность участка

На рис. 4 приведена статистика плотности распределения длин поездов на грузонапряжен-

ном участке. Выделяются несколько характерных интервалов длин грузовых поездов в условных вагонах: 50–84, 90–95 (тяжеловесные 8–9 тыс. т) и 110–140 (соединенные).

Влияние длины поезда при трехзначной автоблокировке с трехблочным разграничением согласно выражению (6) представлено на рис. 5, где для наглядности выделены интервалы реальных длин поездов, а также приведена кривая для ситуации двухблочного разграничения при групповом автоведении. В среднем прирост пропускной способности при увеличении длины поезда на 1 условный вагон составляет около 1 %, при этом эффект падает с ростом длины состава.

Фактически при существующей инфраструктуре на сети железных дорог удлинение поездов требует значительных капитальных вложений и лишь отчасти обеспечивается за счет изменения технологии пропуска поездов (увеличения доли тяжеловесных и длинносоставных поездов), что приводит и к увеличению средней длины состава на участке. На рассмотренном участке замена одного грузового поезда установленной длины на соединенный приводит к увеличению средней длины состава на 0,8 условного вагона, а на тяжеловесный — на 0,4, откуда можно сделать вывод, что потенциал роста провозной способности за счет удлинения состава ограничен 10 %, и даже это может потребовать значительных вложений в инфраструктуру.

Рис. 5 демонстрирует качественные возможности повышения провозной способности путем увеличения длины поезда при допущении о постоянной массе груженого вагона,

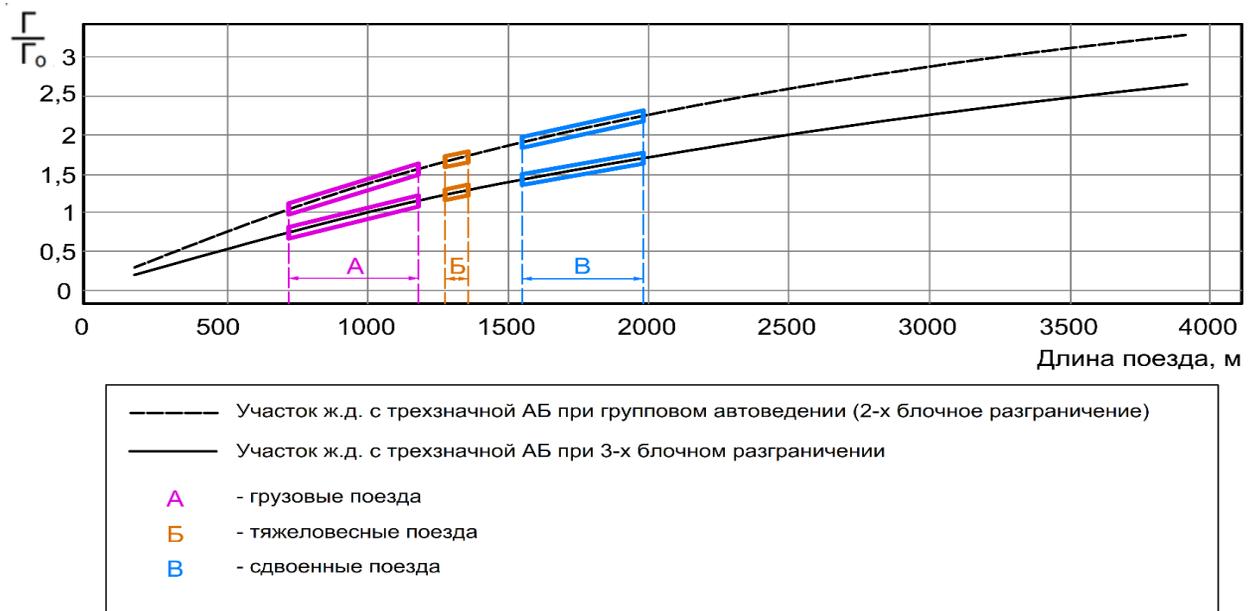


Рис. 5. Относительное изменение провозной способности от длины поезда

что накладывает ограничения на применение представленных результатов для объективной оценки и требует более точных расчетов в каждом конкретном случае.

5. Влияние интервального регулирования на провозную способность участка

В зависимости от СИР минимальное расстояние между поездами в потоке меняется. Это изменяет пропускную способность, что при прочих равных условиях пропорционально меняет провозную способность. Самый большой интервал между поездами из рассматриваемых вариантов для трехзначной автоблокировки с защитными блок-участками обеспечивает наименьшую пропускную (провозную) способность, самый маленький интервал для координатной СИР — наибольшую.

Особенность работы СИР в том, что при сближении поездов меньше интервала разграничения, скорость движения поезда начинает снижаться с целью обеспечения безопасности движения вплоть до 0, что снижает пропускную (провозную) способность участка. Наступает эффект перенасыщения поездами участка с падением пропускной способности [14].

Для построения зависимости изменения провозной способности по формуле (6), как

функции разграничивающего расстояния системы интервального регулирования, необходимо определить скорость, как функцию интервала между поездами при принятой СИР (рис. 6). Поскольку моделирование ведется для непрерывного потока поездов, то все кривые скорости рассматриваются для наихудшего случая расстановки поездов на участке.

Установленная скорость движения во всех случаях взята 80 км/ч. В случае перенасыщения участка поездами при моделировании выбирается скорость в соответствии с требованиями СИР по безопасному снижению скорости:

- для классической трехзначной автоблокировки и автоблокировки с защитными блок-участками тормозное усилие и точка начала торможения выбираются такими, чтобы обеспечить прицельное торможение за 100 метров до красного сигнала, но при этом выполнить требование ПТЭ — проследовать желтое показание с максимально возможной скоростью 60 км/ч и за 500 м до красного сигнала снизить скорость до 20 км/ч. Длина защитного участка выбрана минимальной для заданных условий движения ($L_{3y} = 600$ м), хотя проектом может быть установлена больше, что приведет к еще большему снижению пропускной способности;
- для движения с использованием группового автоведения (виртуальной сцепки)

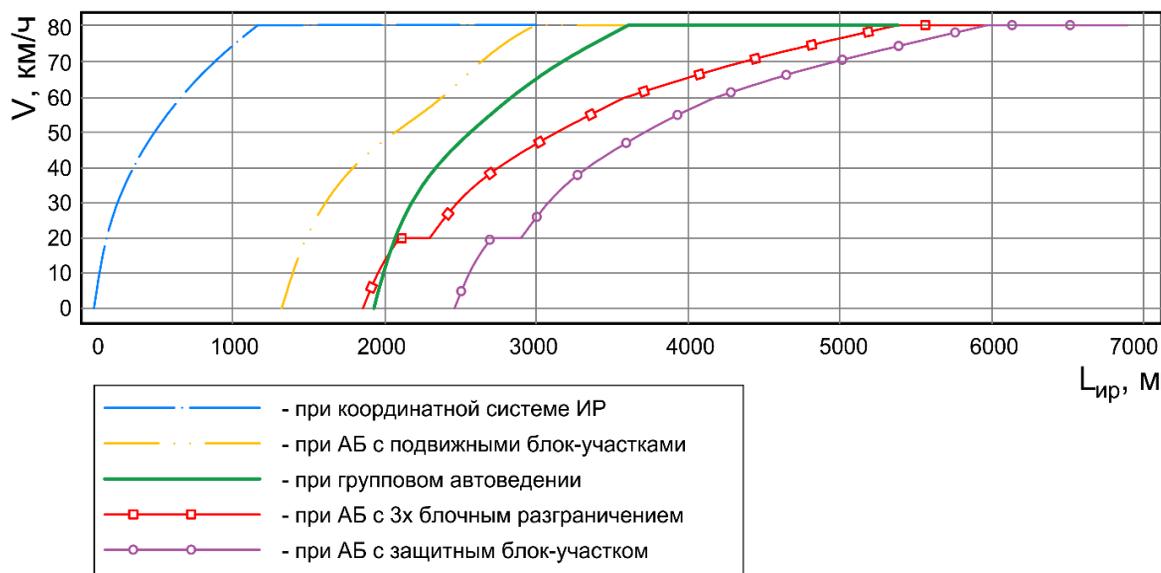


Рис. 6. Скорости потока поездов при заданном разграничивающем расстоянии

принято, что разрешено проследование желтого сигнала с установленной максимальной скоростью 80 км/ч, а тормозное усилие выбирается для обеспечения прицельного торможения в режиме автоведения на одном блок-участке с остановкой за 150 м до красного сигнала (для обеспечения безопасного движения под кривой дублирующей системы управления тормозами САУТ);

– для автоблокировки с плавающим блок-участком в соответствии с обоснованием, представленным выше, приняты следующие расстояния: $L_з = L_ж = L_{з\text{у}} = 600$ м, $L_{кж} = 1200$ м. Снижение скорости при насыщении поездами участка будет начинаться, как только расстояние между поездами снизится менее разграничивающего, за счет эффекта проблиска желтого показания. Поэтому скорость при моделировании будет выбираться по кривой прицельного снижения скорости на границу РЦ, кодируемой кодом Ж. В случае уменьшения разграничивающего интервала менее участка, кодируемого кодом КЖ, выбирается скорость, обеспечивающая прицельное торможение за 100 м до начала защитного участка;

– для координатной СИР принято регулирование на хвост впередиидущего поезда полным служебным торможением плюс защитный участок 100 м.

На рис. 7 виден относительный эффект увеличения провозной способности за счет применения более совершенных систем интервального регулирования. За единицу принят вариант Γ_0 при трехзначной автоблокировке с трехблочным разграничением и длиной блок-участка 1800 м при движении с установленной скоростью 80 км/ч. Чем меньше интервал СИР, тем больше пропускная способность, но и тем круче идет падение пропускной способности при перенасыщении участка и тем чувствительнее становится система к отказам технических средств.

Из рис. 7 следует также, что потенциал увеличения провозной способности технологии группового автоведения с двухблочным разграничением трехзначной автоблокировкой равен 35 %. Это, конечно, значительно меньше, чем у координатной СИР или автоблокировки с плавающим блок-участком, но все же достаточно, чтобы оперативно решить проблему повышения провозной способности в некоторых случаях (например, при восстановлении движения после отказов или капитальных ремонтах).

Заключение

В статье рассмотрен потенциал повышения провозной способности в сложившихся условиях эксплуатации: за счет увеличения скорости, длины поезда и сокращения интервала между поездами.

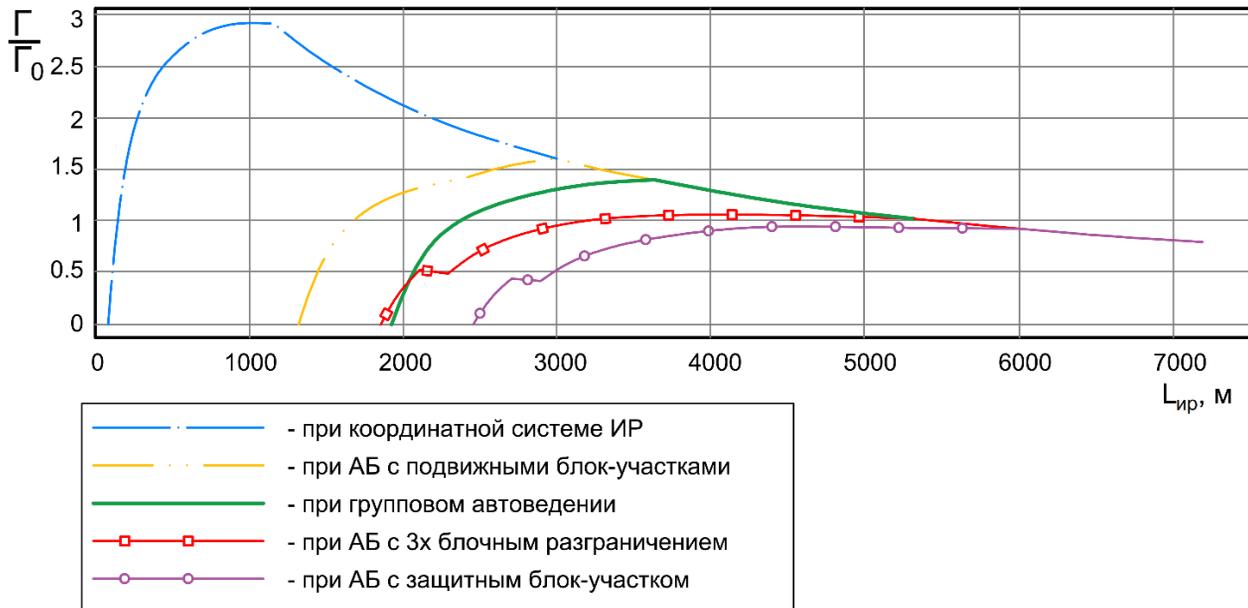


Рис. 7. Изменение провозной (пропускной) способности в зависимости от разграничивающего расстояния между поездами в потоке с учетом ограничения скорости при насыщении участка

Самый большой потенциал роста пропускной и, как следствие, провозной способностей обеспечивает переход на системы интервального регулирования с плавающим блок-участком или координатным способом регулирования.

Предложен способ организации движения на основе группового автоведения как развития уже применяемой технологии виртуальной сцепки. При этом показано, что разрешение проследования желтого сигнального показания в режиме автоведения с установленной максимальной скоростью движения на участке (80 км/ч) при наличии системы прицельного торможения (САУТ, БЛОК) позволяет перейти на движение с двухблочным разграничением по трехзначной автоблокировке.

Путем моделирования установлено, что групповое автоведение обладает потенциалом увеличения пропускной способности за счет снижения разграничивающего расстояния на 35 % и за счет повышения технической скорости еще на 33 %. Таким образом, внедрение технологии группового автоведения реально позволит повысить пропускную/провозную способность на 50–80 %.

Исследования выполнены при поддержке ОАО «РЖД»: грант на развитие научно-педагогических

школ в области железнодорожного транспорта 2022–2023 гг. ▲

Библиографический список

1. Левин Д. Ю. Теория оперативного управления перевозочным процессом: монография / Д. Ю. Левин. — М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2008. — 625 с.
2. Сотников Е. А. Изменения пропускной и провозной способностей высокозагруженных направлений при организации движения соединенных поездов на постоянной основе / Е. А. Сотников, П. С. Холодняк // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. — 2019. — Т. 78. — № 5. — С. 259–265.
3. Мехедов М. И. Повышение провозной способности транссибирской магистрали на основе организации движения соединенных поездов / М. И. Мехедов и др. // Железнодорожный транспорт. — 2021. — № 3.
4. Курбасов А. С. Увеличение скоростей на железных дорогах России: возможности и преимущества / А. С. Курбасов // Транспорт Российской Федерации. — 2011. — № 6(37). — С. 20–23.
5. Апатцев В. И. Оценка целесообразности организации тяжеловесного движения на электрифицированных железнодорожных участках / В. И. Апатцев, А. В. Подорожкина, В. О. Русаков // Наука и техника транспорту. — 2014. — С. 48–51.
6. Шаманов В. И. Системы интервального регулирования движения поездов с цифровыми радиоканалами / В. И. Шаманов // Автоматика на транспорте. — 2018. — Т. 4. — № 2. — С. 223–240.
7. Шухина Е. Е. Развитие локомотивных систем безопасности и управления / Е. Е. Шухина, Г. К. Кисельгоф // Железнодорожный транспорт. — 2020. — № 4. — С. 51–54.

8. Бушуев С. В. Повышение пропускной способности участка железной дороги с применением технологии виртуальной сцепки / С. В. Бушуев, К. В. Гундырев, Н. С. Голочалов // Автоматика на транспорте. — 2021. — Т. 7. — № 1.
9. «Виртуальной сцепке» зеленый свет. — URL: <https://www.avpt.ru/news/virtualnoy-stsepke-zelenyy-svet/> (дата обращения: 08.08.2022).
10. Виртуальная сцепка становится реальной. — URL: <http://gudok.ru/newspaper/?ID=1565576> (дата обращения: 08.08.2022).
11. Климова Е. В. Пропускная и провозная способность перегонов при реализации технологии «виртуальная сцепка» грузовых поездов / Е. В. Климова // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. — 2020. — № 3(47). — С. 53–64.
12. Оленцевич В. А. Эффективность внедрения интервального регулирования движения поездов по системе «виртуальная сцепка» на участке / В. А. Оленцевич, Р. Ю. Упырь, А. А. Антипина // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2020. — № 2(66).
13. Власьевский С. В. Оценка энергетической эффективности электровозов ЗЭС5К при использовании технологии интервального регулирования движения по типу «виртуальная сцепка» / С. В. Власьевский и др. // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. — 2020. — Т. 79. — № 1.
14. Левин Д. Ю. Расчет и использование пропускной способности железных дорог: монография / Д. Ю. Левин, В. Л. Павлов. — М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2011. — 364 с.
15. Хусаинов Ф. И. Показатели скорости как аналитические инструменты для оценки работы железных дорог / Ф. И. Хусаинов // Транспорт Российской Федерации. — 2017. — № 4(71). — С. 19–22.
16. Розенберг Е. Н. Интервальное регулирование движения поездов / Е. Н. Розенберг, А. А. Абрамов, В. В. Батраев // Железнодорожный транспорт. — 2017. — № 9.
17. Гордиенко А. А. Повышение пропускной способности на лимитирующих участках Северо-Кавказской железной дороги за счет интервального регулирования движения поездов / А. А. Гордиенко, В. Н. Зубков, Н. Н. Мусиенко // Транспорт и логистика: стратегические приоритеты, технологические платформы и решения в глобализованной цифровой экономике: сборник научных трудов III Международной научно-практической конференции. 2019. — Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2019. — С. 98–102.
18. Новиков В. Г. Координатная система интервального регулирования движения поездов с расширенными функциональными возможностями локомотивного устройства: автореферат диссертации / В. Г. Новиков. — М.: МИИТ, 2011. — 23 с.

TRANSPORT AUTOMATION RESEARCH, 2022, Vol. 8, No. 4, pp. 343–353

DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-04-343-353

Ways to Rise Carrying Capacity of Railway Sections

Information about author

Bushuev S. V., PhD in Engineering, Vice-rector for Research Work, Associate Professor. E-mail: SBushuev@usurt.ru

Ural State Transport University, “Automation, Remote Control and Communications in Railway Transport” Department, Yekaterinburg

Abstract: The article considers three courses of carrying (traffic) capacity rise: the increase of train length and traffic speed and the decrease of the interval between trains. Reached indicators in these courses and potential in their growth are defined on statistical data basis. The dependence of carrying (traffic) capacity of railway section from being researched parameters is established. The way of group auto-guidance of trains as the development of being applied technology of virtual replacer is proposed. The possibilities and conditions of the reduction of interval between trains, depending on being applied system of interval regulation and expansion of its possibilities on account of group auto-guidance, are presented. The dependencies demonstrating carrying capacity rise at the expense of interval regulation and train length increase are built. Growth potential is determined on account of group auto-guidance application.

Keywords: carrying and traffic capacity of railways; interval between trains; interval regulation system; virtual assessment; group auto-guidance of trains; unified, heavy-duty and long trains; train motion speed.

References

1. Levin D. Ju. *Teoriya operativnogo upravleniya perevozhnym processom* [The theory of operational management of the transportation process]. Moscow: Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniju na zheleznodorozhnom transporte Publ., 2008. 625 p. (In Russian)

2. Sotnikov E. A., Holodnjak P. S. *Izmeneniya propusknj i provoznoj sposobnostej vysokozagruzennyh napravlenij pri organizacii dvizhenija soedinennyh poezdov na postojannoj osnove* [Changes in throughput and carrying capacity of high-loaded directions when organizing the movement of connected trains on a permanent basis]. *Vestnik Nauchno-Issledovatel'skogo Instituta Zheleznodorozhnogo Transporta* [Bulletin of the Scientific Research Institute of Railway Transport]. 2019, vol. 78, I. 5, pp. 259–265. (In Russian)
3. Mehedov M. I. *Povyshenie provoznoj sposobnosti transsibirskoj magistrali na osnove organizacii dvizhenija soedinennyh poezdov* [Increasing the carrying capacity of the Trans-Siberian Railway on the basis of the organization of the movement of connected trains]. *Zheleznodorozhnyj Transport* [Zheleznodorozhny Transport]. 2021, I. 3. (In Russian)
4. Kurbasov A. S. *Uvelichenie skorostej na zheleznyh dorogah Rossii: vozmozhnosti i preimushhestva* [Increasing speeds on Russian railways: opportunities and benefits]. *Transport Rossijskoj Federacii* [Transport of the Russian Federation]. 2011, I. 6 (37), pp. 20–23. (In Russian)
5. Apatcev V. I., P. A. V. Rusakov V. O. *Ocenka celesoobraznosti organizacii tjazelovesnogo dvizhenija na jelektrificirovannyh zheleznodorozhnyh ucastkah* [Evaluation of the feasibility of organizing heavy traffic on electrified railway sections]. *Nauka i tehnika transport* [Science and Technology for Transport]. 2014, pp. 48–51. (In Russian)
6. Shamanov V. I. *Sistemy interval'nogo regulirovanija dvizhenija poezdov s cifrovymi radiokanalami* [Interval control systems for train traffic with digital radio channels]. *Avtomatika Na Transporte* [Transport automation research]. 2018, vol. 4, I. 2, pp. 223–240. (In Russian)
7. Shuhina E. E., Kisel'gof G. K. *Razvitie lokomotivnyh sistem bezopasnosti i upravlenija* [Development of locomotive security and control systems]. *Zheleznodorozhnyj Transport* [Transport of the Russian Federation]. 2020, I. 4, pp. 51–54. (In Russian)
8. Bushuev S. V., Gundyrev K. V., Golochalov N. S. *Povyshenie propusknj sposobnosti ucastka zheleznoj dorogi s primeneniem tehnologij virtual'noj sceпки* [Increasing the capacity of a section of the railway using virtual coupling technology]. *Avtomatika Na Transporte* [Transport automation research]. 2021, vol. 7, I. 1. (In Russian)

9. «Virtual'noj scepke» zelenyj svet ["Virtual coupling" green light]. Available at: <https://www.avpt.ru/news/virtualnoy-stsepke-zelenyy-svet/> (accessed: August 08, 2022).
10. Virtual'naja scepka stanovitsja real'noj [Virtual coupling becomes real]. Available at: <http://gudok.ru/newspaper/?ID=1565576> (accessed: August 08, 2022).
11. Klimova E. V. Propusknaja i provoznaja sposobnost' peregonov pri realizacii tehnologii «virtual'naja scepka» gruzovyh poezdov [Throughput and carrying capacity of hauls in the implementation of the "virtual coupling" technology of freight trains]. *Vestnik Ural'skogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobshhenija* [Bulletin of the Ural State University of Communications]. 2020, I. 3 (47), pp. 53–64. (In Russian)
12. Olencevich V. A., Upry' R. Ju., Antipina A. A. Jefferktivnost' vnedrenija interval'nogo regulirovanija dvizhenija poezdov po sisteme «virtual'naja scepka» na uchastke [Efficiency of implementation of interval regulation of train traffic according to the "virtual coupling" system on the section]. *Sovremennye Tehnologii. Sistemnyj Analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]. 2020, I. 2 (66). (In Russian)
13. Vlas'evskij S. V. Ocenka jenergeticheskoj jefferktivnosti jelektrovozov 3Je55K pri ispol'zovanii tehnologii interval'nogo regulirovanija dvizhenija po tipu «virtual'naja scepka» [Evaluation of the energy efficiency of 3E55K electric locomotives using the technology of interval traffic control according to the "virtual coupling" type]. *Vestnik Nauchno-Issledovatel'skogo Instituta Zheleznodorozhnogo Transporta* [Bulletin of the Scientific Research Institute of Railway Transport]. 2020, vol. 79, I. 1. (In Russian)
14. Levin D. Ju., Pavlov V. L. *Raschet i ispol'zovanie propusknoj sposobnosti zheleznih dorog* [Calculation and use of railway capacity]. Moscow: Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniju na zheleznodorozhnom transporte Publ., 2011. 364 p. (In Russian)
15. Husainov F. I. Pokazateli skorosti kak analiticheskie instrumenty dlja ocenki raboty zheleznih dorog [Speed indicators as analytical tools for assessing the work of railways]. *Transport Rossijskoj Federacii* [Transport of the Russian Federation]. 2017, I. 4 (71), pp. 19–22. (In Russian)
16. Rozenberg E. N., Abramov A. A., Batraev V. V. Interval'noe regulirovanie dvizhenija poezdov [Interval control of train traffic]. *Zheleznodorozhnyj Transport* [Transport of the Russian Federation]. 2017, I. 9. (In Russian)
17. Gordienko A. A., Zubkov V. N., Musienko N. N. Povyshenie propusknoj sposobnosti na limitirujushhijh uchastkah Severo-kavkazskoj zheleznoj dorogi za schet interval'nogo regulirovanija dvizhenija poezdov [Increasing throughput on the limiting sections of the North Caucasian Railway due to interval regulation of train traffic]. *Transport i logistika: strategicheskie prioritety, tehnologicheskie platformy i reshenija v globalizovannoj cifrovoj jekonomike. Sbornik nauchnyh trudov III mezh-dunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii.2019* [Transport and logistics: strategic priorities, technological platforms and solutions in the globalized digital economy. Collection of scientific papers of the III International Scientific and Practical Conference.2019]. Rostov-na-Donu: Rostovskij gosudarstvennyj universitet putej soobshhenija Publ., 2019, pp. 98–102. (In Russian)
18. Novikov V. G. *Koordinatnaja sistema interval'nogo regulirovanija dvizhenija poezdov s rasshirennyimi funkcional'nymi vozmozhnostjami lokomotivnogo ustrojstva* [Coordinate system of interval regulation of train traffic with extended functionality of the locomotive device]. Moscow: MIIT Publ., 2011. 23 p. (In Russian)