



# Резервы пропускной способности железных дорог



Дмитрий ЛЕВИН  
Dmitry Yu. LEVIN

Виктория СОКОЛОВА  
Victoria B. SOKOLOVA



*Левин Дмитрий Юрьевич — доктор технических наук, профессор кафедры управления эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.  
Соколова Виктория Борисовна — студентка Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.*

## Reserves for Increasing Railway Capacity

(текст статьи на англ. яз. —  
English text of the article — p. 154)

**Резервы увеличения пропускной способности железных дорог, помимо прочего, связаны с возможностями уменьшения длины блок-участков и сокращения пространственного и временного межпоездного интервала.**

**Фактическая длина блок-участков, определяемая по межпоездному интервалу, оказывается значительно больше расчётной длины, необходимой для безопасности движения. Сообразная расстановка светофоров приводит к занижению наличной пропускной способности. Для приведения длин блок-участков в соответствие с тормозным путём предлагается рассмотреть следование поездов на жёлтое показание светофора без снижения скорости. Уменьшение тормозного пути, длины блок-участков и их числа позволит увеличить пропускную способность, прежде всего на грузонапряжённых участках. Обеспечить минимально нужный интервал между поездами могут спутниковые радионавигационные системы, регулирующие движение без напольных светофоров и рельсовых цепей.**

*Ключевые слова:* железная дорога, пропускная способность, длина блок-участка, тормозной путь поезда, межпоездной интервал, расстановка проходных светофоров, спутниковая навигация.

**П**ри остром дефиците пропускной способности отечественных железных дорог имеются и большие резервы, реализация которых возможна без дополнительных капиталовложений. Однако возможности остаются возможностями, пока мешают незримые шлагбаумы.

## КРУГОВАЯ ОБОРОНА

Максимально допустимая скорость движения грузовых поездов — одна из важнейших характеристик, определяющая перевозочные возможности железнодорожного транспорта. Другое не менее значимое слагаемое в существующих формулах расчёта пропускной способности двухпутного участка — межпоездной интервал, вокруг которого возникает замкнутый круг.

С одной стороны, по расчётному интервалу попутного следования поездов определяют места для проходных светофоров на перегонах и устанавливают длину блок-участков [1]. Длина блок-участков должна быть не менее тормозного пути при полном служебном и автостопном торможениях после проследования поездом светофора с жёлтым сигнальным огнём с максималь-

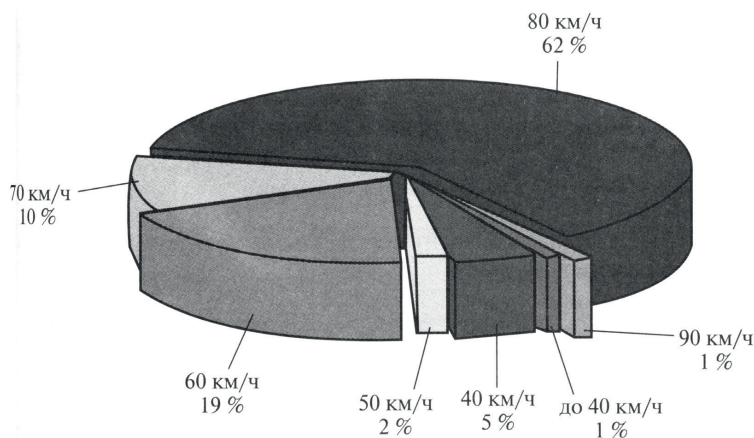


Рис. 1. Распределение максимально допускаемых скоростей грузовых поездов в графике движения.

ной скоростью для этого места пути. С другой стороны, длина блок-участков сама определяет возможную интенсивность движения поездов и пропускную способность участка.

Проблема замкнутого круга состоит в том, что длина блок-участков устанавливается по минимальной величине расчётного межпоездного интервала и максимально допустимой скорости движения поездов, в то время как фактически ситуация выглядит иначе.

Во-первых, на участках из-за различных причин действуют ограничения скорости движения поездов. Во-вторых, поездам невозможно обеспечить синхронность их движения, строгое соблюдение межпоездных интервалов и нормативного времени хода. Несинхронность усугубляется требованием следовать на жёлтый огонь путевого светофора с ограниченной скоростью при подходе и отправлении с раздельного пункта и на затяжных подъёмах. В-третьих, для остановки поезда в самых неблагоприятных условиях достаточно одного блок-участка, в то время как при трёхзначной автоблокировке предусмотрен интервал между поездами не менее трёх блок-участков (трёх тормозных путей). В-четвёртых, почти на всех участках сети установлена максимально допустимая скорость движения поездов ниже, чем в ПТЭ. В-пятых, распространённое перенасыщение грузонапряжённых участков поездами приводит к следованию на жёлтый и красный огни светофоров, снижению ходовой скорости и уменьшению требуемого тормозного пути.

Следование «под зелёный на зелёный огонь» светофора означает, что расстояние между попутными поездами не менее трёх тормозных путей при полном служебном торможении. Но этот вид торможения в качестве рабочего запрещён должностными инструкциями [2]. При регулировании скорости на перегонах и остановках применяют торможение I или II. В этом случае тормозной путь возрастает в 1,5–2 раза. Анализ скоростемерных лент показывает, что при следовании на жёлтый огонь машинисты заблаговременно начинают торможение поезда. Большой разброс значений скорости во многом зависит от их квалификации.

Максимально допустимые скорости движения грузовых поездов на сети железных дорог распределяются следующим образом: до 40 км/ч – 1 %, 40 км/ч – 4,9 %, 50 км/ч – 1,8 %, 60 км/ч – 19,1 %, 70 км/ч – 10,2 %, 80 км/ч – 62,1 % и 90 км/ч – 0,9 % (рис. 1).

В современных условиях реализация максимальной скорости движения грузовых поездов в соответствии с § 17 ПТЭ [3] может обеспечить рост участковой скорости не менее чем на 10 км/ч.

### УМЕЛО ТОРМОЗИТЬ – СКОРО ВОЗИТЬ

Повышение скорости и увеличение плотности движения поездов – очевидные резервы роста пропускной способности. При этом возникает конфликт целей, поскольку повышение безопасности и повышение пропускной способности зачастую противоречат друг другу.



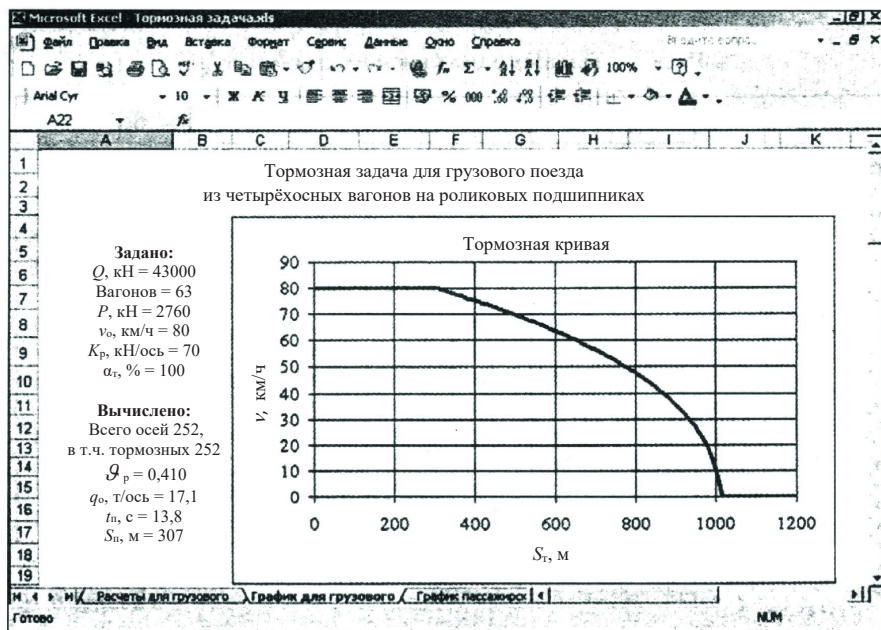


Рис. 2. Решение тормозной задачи на ЭВМ.

Для обеспечения безопасности движения необходима своевременная остановка поезда перед препятствием. Это может достигаться непрерывным контролем скорости бортовым компьютером, в котором решается тормозная задача (рис. 2). С одной стороны, идёт поиск тормозных средств, обеспечивающих снижение скорости движения или полную остановку поезда на требуемом расстоянии. А с другой стороны, определяется расстояние, на котором заданный поезд известными тормозными средствами может остановиться или снизить скорость движения до нужного значения.

После поворота машинистом ручки крана в тормозное положение проходит некоторое время, прежде чем тормозные колодки соприкоснутся с колёсами. Этот временной отрезок называют временем подготовки тормозов к действию. Расстояние  $S_n$ , которое поезд проходит в этот момент, называют подготовительным тормозным путём, а расстояние  $S_d$ , когда он движется с прижатыми тормозными колодками — действительным тормозным путём. То есть тормозной путь  $S_t$  складывается из подготовительного и действительного:

$$S_t = S_n + S_d. \quad (1)$$

За время подготовки тормозов к действию при постоянной скорости движения поезд проходит расстояние:

$$S_n = 1000 \cdot v_0 \frac{t_n}{3600} \approx 0,278 \cdot v_0 \cdot t_n, \quad (2)$$

где  $v_0$  — скорость поезда в момент начала торможения, км/ч;  $t_n$  — время подготовки тормозов к действию, с.

Время подготовки тормозов к действию при автоматических тормозах для грузового поезда длиной 200 осей и менее принимается 7 с, длиной от 200 до 300 осей — 10 с и более 300 осей — 12 с. При ручных тормозах  $t_n = 60$  с.

Процесс торможения поезда определяется длиной тормозного пути  $S_t$ , начальной  $v_0$  и конечной  $v_k$  скоростью торможения, уклоном пути  $I$  и тормозными средствами с расчётным тормозным коэффициентом  $\psi_r$ . К нахождению одной из этих величин по известным остальным и сводится решение тормозной задачи.

При аналитическом интегрировании уравнения движения поезда весь диапазон изменения скорости от начальной до конечной разбивают на интервалы. Для каждого из интервалов в соответствии с выражением

$$\frac{dv}{dt} = 2(f_k - w_k) \text{ км/ч} \cdot \text{мин}$$

находят путь, который проходит поезд. Суммарное значение действительного тормозного пути:

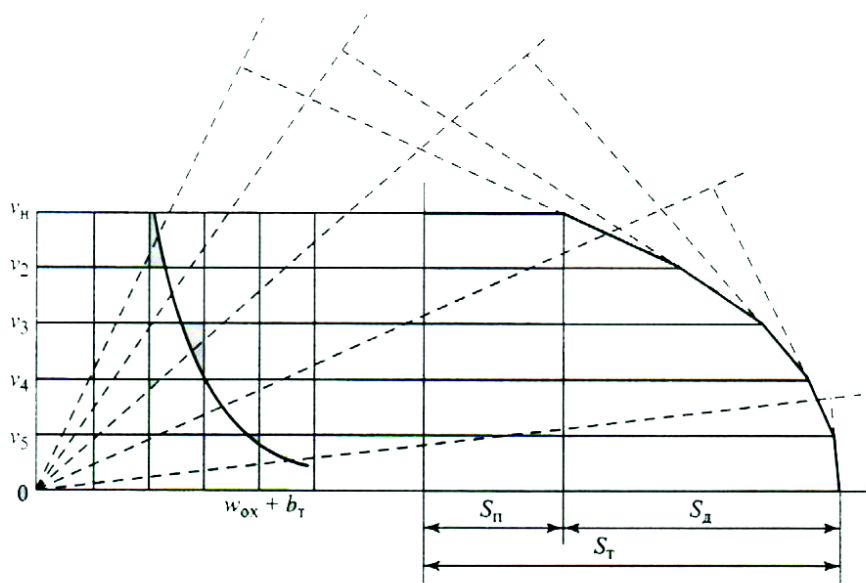


Рис. 3. Графический способ определения тормозного пути поезда.

$$S_{\text{д}} = \sum \frac{500(v_{\text{ки}}^2 - v_{\text{ки}}^2)}{\zeta r_{\text{ср}i}}, \text{ м},$$

где  $v_{\text{ни}}$ ,  $v_{\text{ки}}$  — значения начальной и конечной скоростей движения поезда на  $i$ -м интервале, км/ч;  $r_{\text{ср}i}$  — среднее на  $i$ -м интервале изменения скорости значение удельной равнодействующей сил, приложенных к поезду, Н/кН.

Среднее на  $i$ -м интервале изменения скорости значение удельной равнодействующей сил, приложенных к поезду, определяют в соответствии с формулой:

$$r_i = -\frac{Pw_0'(v_{\text{ср}i}) + Qw_0''(v_{\text{ср}i})}{P + Q} - b_m(v_{\text{ср}i}) - i_i. \quad (3)$$

Для графического определения длины тормозного пути в прямоугольных координатах (рис. 3) строят диаграмму замедляющих сил для режима торможения и рядом откладывают по оси абсцисс расстояние, равное пути подготовки тормозов  $S_{\text{п}}$ , вычисленное в соответствии с выражением (2).

На уровне скорости начала торможения  $v_{\text{н}}$  проводят горизонтальную линию, соответствующую постоянной скорости в пределах пути подготовки тормозов. Затем разбивают весь диапазон изменения скорости от  $v_{\text{н}}$  до нуля на интервалы не более 10 км/ч и способом Липца строят кривую

скорости от координаты окончания пути подготовки тормозов до точки, в которой значение скорости становится равным 0. Расстояние  $S_{\text{т}}$  и является искомой длиной тормозного пути, а соответственно и длиной блок-участка.

Таким образом, максимально допустимая скорость влияет на пропускную способность через ходовую скорость и длину блок-участков. Эту зависимость можно выразить формулой:

$$n = \frac{Tv}{60S}, \quad (4)$$

где  $T$  — период времени, за который определяется пропускная способность, мин;  $v$  — скорость движения поездов;  $S$  — пространственный интервал между поездами, км, при автоблокировке равен длине трёх блок-участков.

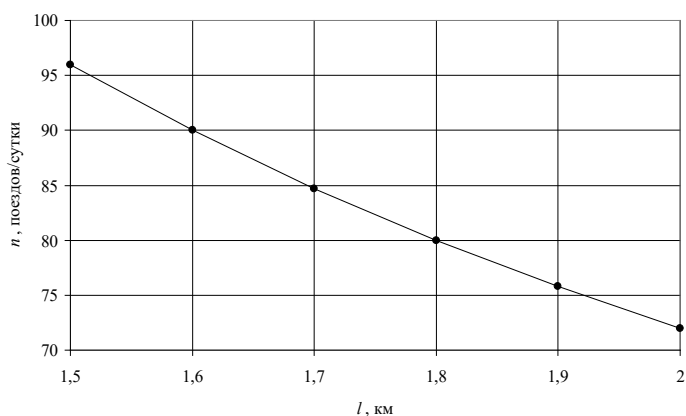
## НЕИДЕНТИЧНОСТЬ ИНТЕРВАЛОВ

На практике длина блок-участков, определяемая по межпоездному интервалу, оказывается значительно больше длины, достаточной для обеспечения безопасности движения поездов [5]. Подобная расстановка светофоров приводит к занижению наличной пропускной способности участков (рис. 4). Но существующая конструкция автоблокировки не позволяет оперативно менять расстановку путевых светофоров

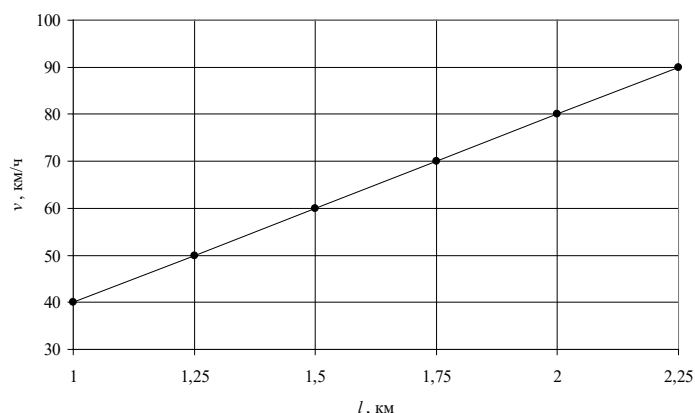




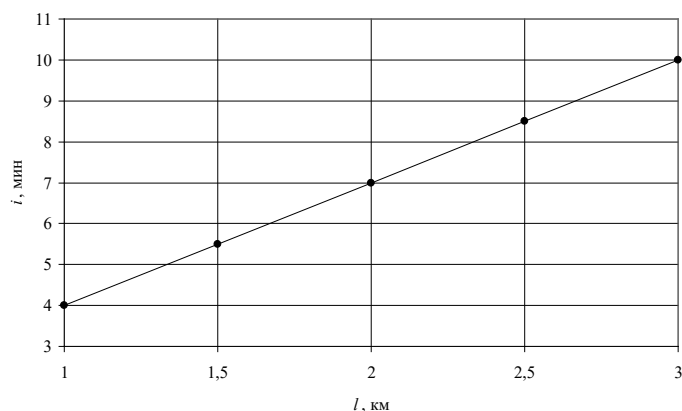
**Рис. 4. Зависимость между средней длиной блок-участков и наличной пропускной способностью участка.**



**Рис. 5. Изменение средней длины блок-участков в зависимости от максимально допускаемой скорости движения поездов для сохранения наличной пропускной способности участка.**



**Рис. 6. Влияние длин блок-участков на межпоездной интервал.**



исходя из реального тормозного пути [6]. Необходимость в этом видна из графика на рис. 5, на котором показано, как при изменении максимально допускаемой скорости движения поездов должна меняться длина блок-участков. Такой вариант, впрочем, возможен лишь в недалёком будущем при использовании спутниковой навигации, когда перестанут пользоваться путевыми светофорами и рельсовыми цепями [5].

Разумное уменьшение протяжённости блок-участков при трёхзначной автоблокировке позволяет сократить межпоездной интервал (рис. 6).

При автоблокировке принято движение поездов «под зелёный на зелёный огонь светофора», т.е. максимально допустимая скорость и минимальный межпоездной интервал должны обеспечивать следование поездов только на зелёное показание све-

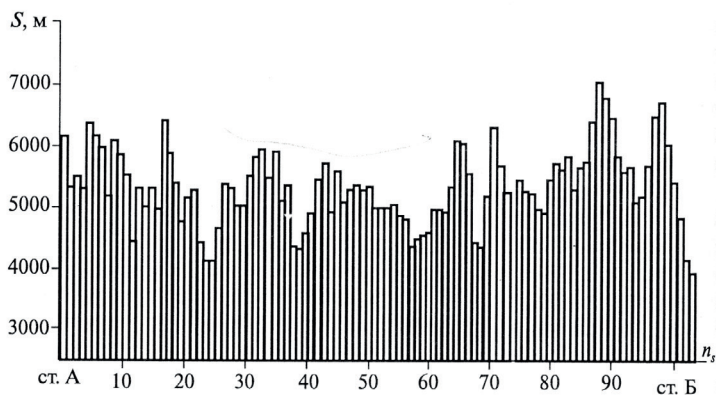


Рис. 7. Пространственные интервалы между поездами на участке при следовании на зелёные показания светофоров.

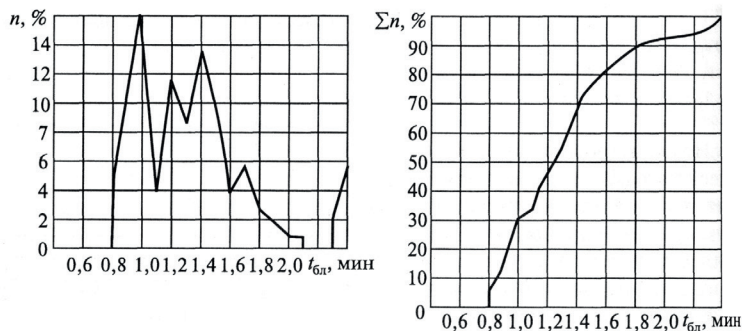


Рис. 8. Дифференциальная (а) и интегральная (б) кривые распределения времени хода поездов на одном из участков.

тофоров [8]. Это обеспечивается пространственным ( $S$ ) и временным ( $I$ ) интервалами между поездами:

$$S = 3 \cdot l_{\text{бл}} + l_{\text{п}};$$

$$I = 3 \cdot l_{\text{бл}} + l_{\text{п}} \cdot v_x,$$

где  $l_{\text{бл}}$  — длина блок-участка;  $l_{\text{п}}$  — длина поезда;  $v_x$  — ходовая скорость движения поезда.

Неидентичность пространственных ( $S$ ) и временных ( $I$ ) интервалов вызвана неодинаковым планом и продольным профилем пути и разной скоростью движения поездов. Минимальные и максимальные величины пространственных и временных интервалов на участках могут отличаться в 2–3 раза (рис. 7).

Неидентичность временных ( $I$ ) интервалов, кроме указанных причин, может быть вызвана и ограничениями скорости движения поездов, их разгонами при трогании с места, замедлениями при остановках и опробовании автотормозов на первых двух блок-участках (после выходного светофора). Увеличение диапазона распределения временных интервалов бывает также связано с параллельной прокладкой «ниток» графика движения для

грузовых, пригородных и пассажирских поездов (рис. 8).

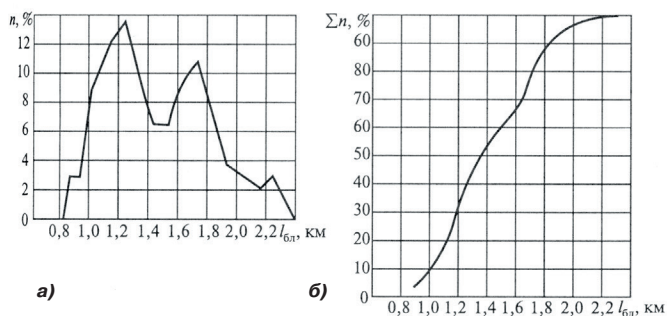
При трёхзначной автоблокировке предусмотрено разграничение попутно следующих поездов не менее тремя блок-участками, исходя из этого и с учётом расчётами межпоездного интервала, с которым следуют поезда с установленной скоростью, выбирают места установки проходных светофоров на перегонах. Длина блок-участков должна быть не менее тормозного пути, при полном служебном и автостопном торможениях после проследования поездом светофора с жёлтым сигнальным огнём с максимальной скоростью, реализуемой в данном месте пути. При этом предполагается, что поезд обеспечен минимальным тормозным нажатием согласно действующим нормативам [4].

## КРИВАЯ ТОРМОЖЕНИЯ И ПРЯМОЙ КОНТРОЛЬ

Расстановка проходных светофоров для обеспечения минимального разграничения поездов тремя тормозными путями в реальной поездной работе подвержена влиянию различных дополнительных факторов и не



**Рис. 9.**  
**Дифференциальная (а)**  
**и интегральная (б)**  
**кривые распределения**  
**длин блок-участков.**



позволяет реализовать расчётную пропускную способность. Поэтому на сети длина блок-участков, определяемая по межпоездному интервалу, значительно больше длины, требуемой для безопасного движения поездов (рис. 9).

Среди дополнительных факторов, влияющих на длину блок-участков, несинхронность движения поездов, сверхграфиковые ограничения скорости движения, различия в проследовании станций (с остановкой или без неё, движение по главным или боковым путям) и т.д.

При строгом соблюдении расстояния между проходными светофорами, равном тормозному пути, несинхронность движения поездов и наличие ограничений скорости приведут к следованию поездов на чередующиеся показания зелёного и жёлтого сигналов. Для сохранения в этих условиях максимально допустимой скорости можно применять четырёхзначную автоблокировку или трёхзначную автоблокировку, но четырёхзначную АЛСН. Оба эти решения при существующем ограничении скорости движения поездов на жёлтое показание светофора вызовут увеличение межпоездного интервала и снижение наличной пропускной способности.

Для приведения длин блок-участков в соответствие с тормозным путём при несинхронности движения поездов и наличии ограничений скорости целесообразно рассмотреть следование поездов на жёлтое показание светофора без снижения скорости. Это возможно потому, что жёлтый огонь светофора ограждает лежащий впереди свободный блок-участок, длина которого не менее тормозного пути, и этого достаточно для остановки поезда, следующего с максимально допустимой скоростью. Зачем же снижать скорость поезда сразу после про-

следования зелёного показания светофора? Блок-участок между зелёным и жёлтым огнями поезд должен ехать с предельно вероятной скоростью. Тем более что существующие системы автоматического управления тормозами обеспечивают: измерение фактической скорости движения поезда и сопоставление её с допустимой по условиям безопасности движения; измерение эффективности тормозов поезда; подачу машинисту предупредительных сигналов о необходимости включения тормозов для снижения скорости и т.д.

Системы автоматического управления тормозами подразделяются на автостопа и собственно АСУ. Автостоп — комплекс устройств на локомотиве, предназначенный для автоматической остановки поезда перед запрещающим сигналом светофора в случае потери бдительности машинистом. Система автоматического управления в отличие от автостопа осуществляет прицельное служебное торможение перед запрещающими показаниями светофоров и местами ограничения скорости. Подобные системы эффективно препятствуют проезду светофоров с запрещающим показанием, и нет необходимости ограничивать скорость движения поездов перед жёлтым показанием светофора. Необоснованное снижение скорости значительно ухудшает показатели пропускной способности железных дорог.

Повышению эффективности системы автоматического управления тормозами может способствовать использование контрольных кривых скорости при торможении (рис. 3), которые строятся на основе информации о параметрах поезда (тормозной коэффициент, режим торможения, длина поезда и т.п.), параметрах пути (продольный профиль, условия сцепления

и т.п.) и целевых параметрах безопасности для различных режимов.

Кривая контроля скорости при экстренном торможении обеспечивает гарантированное замедление. Расчёт замедления в этом случае учитывает только безопасно работающие тормозные системы. Кривая всегда заканчивается в месте контролируемой остановки.

Кривая служебного торможения контролирует замедление, которое рассчитывается с учётом тормозных систем, не все из которых являются безопасными. Это замедление больше, чем гарантированное при экстренном торможении. Кривая заканчивается у места препятствия. При превышении значений этой кривой включается полное служебное торможение.

Контрольные кривые скорости при торможении могут быть как в памяти персонального компьютера, так и оперативно рассчитываться в ходе поездки.

Индицируемая кривая контроля скорости указывает машинисту моменты времени отключения тяги и включения тормозов. Точка IP на кривой информирует машиниста, что он приближается к месту, где необходимо приступить к торможению поезда.

Соблюдение расчётного тормозного пути может существенно сократить длину блок-участков и увеличить пропускную способность линий.

## ВЫВОДЫ

1. Следует учитывать, что существующее требование снижения скорости движения поездов перед жёлтым и красным показаниями светофоров позволяет сократить тормозной путь и длину блок-участков.

2. На участках железных дорог максимально допустимая скорость установлена на уровне ниже, чем предусмотрено в ПТЭ, и действует большое число ограничений скорости движения поездов, что позволяет уменьшить длину блок-участков.

3. Фактическая длина блок-участков часто значительно больше расчётной длины, что необоснованно увеличивает меж-

поездной интервал и уменьшает пропускную способность участков.

4. Для остановки поезда в самых неблагоприятных условиях достаточно одного тормозного пути, что делает нецелесообразным существование положения о необходимости следования поездов «с зелёного на зелёное» показание светофора и поддержания расстояния между поездами на уровне не менее трёх блок-участков (трёх тормозных участков).

5. Уменьшение тормозного пути, длины блок-участков и их числа позволяет без больших капиталовложений увеличить пропускную способность, прежде всего грузонапряжённых участков.

6. Обеспечить минимально необходимый интервал между поездами поможет использование спутниковых радионавигационных систем, позволяющих регулировать движение поездов без напольных светофоров и рельсовых цепей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по определению станционных и межпоездных интервалов. ЦД/361. Утв. МПС РФ 16.06.1995 г.
2. Инструкция по эксплуатации тормозов подвижного состава железных дорог. ЦТ-ЦВ-ВНИИЖТ/1440. — М.: Транспорт, 1988. — 24 с.
3. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. Утв. приказом Минтранса России 21.12.2010 г. № 286. — М.: Трансинфо лтд, 2011. — 255 с.
4. Иноземцев В. Г., Дмитриев В. С. Рациональная расстановка проходных светофоров на грузонапряжённых линиях // Железнодорожный транспорт. — 1979. — № 3. — С. 27–29.
5. Левин Д. Ю. Теория оперативного управления перевозочным процессом. — М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2008. — 625 с.
6. Левин Д. Ю., Павлов В. Л. Расчёт и использование пропускной способности железных дорог. — М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2011. — 364 с.
7. Лисенков В. М., Бестемьянов П. Ф., Леушин В. Б. и др. Системы управления движением поездов на перегонах: Учебник. — Ч. 1. — М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2009. — 160 с.
8. Зябиров Х. Ш., Шапкин И. Н., Щёлков А. И. Современные технологии, организация и управление эксплуатационной работой на железных дорогах (опыт, теория, практика, перспектива): Части I и II. — М.: ИСПИ РАН, 2005. — 616 с.
9. Инструкция по сигнализации на железнодорожном транспорте Российской Федерации. Утв. приказом Минтранса России 04.06.2012 г. № 162. — М.: Трансинфо лтд, 2012. — 159 с.

Координаты авторов: **Левин Д. Ю.** — levindu@yandex.ru,  
**Соколова В. Б.** — viktoriya.sokolowa2015@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 06.06.2018, принята к публикации 21.08.2018.

