



НАУЧНЫЕ ДИСКУССИИ: ГИПОТЕЗЫ, ТЕОРИИ, ОБСУЖДЕНИЕ

Оригинальная научная статья
УДК 65.011.56
EDN: <https://elibrary.ru/dnmrzm>
DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2026-85-1-78-92>
Научная специальность: 2.9.4. Управление процессами перевозок



Вопросы пропуска транзитных грузовых поездопотоков на железных дорогах в условиях увеличивающихся объемов грузовых перевозок

М. И. Мехедов, Л. А. Мугинштейн✉

Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ),
Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Целью статьи является обоснование комплекса мероприятий по повышению эффективности пропуска транзитных поездов в условиях роста объема грузовых перевозок. В настоящее время актуальным для увеличения перевозочной способности представляется достижение расчетного эффективного режима работы железной дороги, который обеспечивается при равенстве или превышении величиной наличной пропускной способности величины потребной пропускной способности.

Материалы и методы. В работе рассматриваются варианты организации движения грузовых поездов во всем диапазоне соотношений между величинами потребной и наличной пропускных способностей. При этом возможно движение значительного числа поездов по смешанным показаниям светофоров — зеленым, желтым, красным, с меньшими скоростями.

Результаты. Получено аналитическое соотношение, которое показывает уменьшение средней скорости движения грузовых поездов в зависимости от допустимых скоростей движения поездов по желтым и зеленым сигналам светофоров и от расстояния между вслед идущими поездами. По основному соотношению для средней скорости, расстоянию между поездами от двух до трех блок-участков получена принципиальная зависимость средней скорости движения грузовых поездов по желто-зеленым сигналам светофоров от количества поездов на примере участка длиной 180 км, длиной блок-участков 3 км, принятыми скоростями движения на зеленый и желтый — 80 км/ч и 40 км/ч соответственно. Получены аналитические зависимости участковой скорости от длины участка, от средней скорости движения грузовых поездов и от величин задержек движения каждого поезда при пропуске их по участкам и направлениям железной дороги.

Обсуждение и заключение. Расчеты показывают значительное влияние уменьшения расстояний между поездами и увеличения задержек на снижение участковых скоростей и объясняют наблюдаемое на грузонапряженных направлениях снижение участковых скоростей до уровня 32–35 км/ч.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: железная дорога, перевозочный процесс, пропускная способность, расстояние между поездами, участковая скорость

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мехедов М. И., Мугинштейн Л. А. Вопросы пропуска транзитных грузовых поездопотоков на железных дорогах в условиях увеличивающихся объемов грузовых перевозок // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2026. Т. 85, № 1. С. 78–92. EDN: <https://elibrary.ru/dnmrzm>.

✉ zhumahanova@vniizht.ru (Л. А. Мугинштейн)

© Мехедов М. И., Мугинштейн Л. А., 2026

Original article
UDK 65.011.56
EDN: <https://elibrary.ru/dnmrzm>
DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2026-85-1-78-92>
Scientific specialty: 2.9.4. Transportation process management



Issues of transit freight train traffic handling in conditions of freight traffic volumes increase

Mikhail I. Mekhedov, Lev A. Muginshtein✉

Railway Research Institute,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The aim of the paper is to substantiate a set of measures to improve the efficiency of transit train handling in conditions of freight traffic increase. Currently, it is relevant to increase the traffic capacity to achieve the calculated effective mode of operation of the railway, which is provided when the available capacity is equal or greater than the required capacity.

Materials and methods. The paper considers options for organising freight trains movement in the entire range of ratios between required and available capacity. At the same time, it is possible to move a significant number of trains according to mixed indications of traffic lights signals — green, yellow, red, and at lower speeds.

Results. Obtained analytical ratio shows a decrease in the average speed of freight trains, depending on the permissible train speeds at yellow and green traffic lights, and the distance between the following trains. According to the basic ratio for the average speed, the distance between trains from two to three block sections, fundamental dependence of the average speed of freight trains on the yellow-green traffic light signals on the number of trains is obtained using the example of a 180 km long section, 3 km long block sections, and the accepted speeds for green and yellow at 80 km/h and 40 km/h. Analytical dependences of the section speed on the length of the section, on the average speed of freight trains and on the magnitude of delays in each movement are obtained.

Discussion and conclusion. The calculations show a significant effect of reducing the distances between trains and increasing the amount of delays on the reduction service speeds and explains the decrease in section speeds observed in practice on heavy-traffic routes down to 32–35 km/h.

KEYWORDS: railway, transportation process, traffic capacity, distance between trains, service speed

FOR CITATION: Mekhedov M. I., Muginshtein L. A. Issues of transit freight train traffic handling in conditions of freight traffic volumes increase. *Russian Railway Science Journal*. 2026;85(1):78–92. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2026-85-1-78-92>.

Введение. В работе В. А. Шарова и А. Ф. Бородин [1] рассматривается концепция интегрированной технологии управления движением грузовых поездов по расписанию, эксплуатационно-технические требования к интегрированной технологии, а также комплексная программа поэтапного перехода на организацию движения грузовых поездов по расписанию на 2011–2015 гг. Внедрение этих рекомендаций обеспечило бы нормальную работу железных дорог. Вместе с этим, начиная с 2016 года, на основных направлениях движения поездов упали участковые скорости движения, возросли затраты на содержание локомотивных бригад, подвижного состава, устройств инфраструктуры [2–3]. В 2024–2025 гг. заметно ухудшились эксплуатационные показатели на трех главных полигонах сети (Восточный, Северо-Западный и Юго-Западный). Участковая скорость упала до 32–35 км/ч вместо 45–50 км/ч.

В работе ведущих специалистов по организации движения поездов И. В. Белогузова, А. С. Крылова, А. Ф. Бородин, Е. С. Максимовой [4] предполагалось, что усиление и увеличение диспетчерских участков позволит существенно улучшить эксплуатационные показатели работы железных дорог. Вместе с этим в работе отмечено, что 42,2% участков железных дорог характеризуются заполнением результирующей пропускной способности свыше 85%. Кроме того, 20,6% участков имеют полностью исчерпанную пропускную способность. Число участков с загрузкой менее 50% не превышает 1%, что по оценке авторов свидетельствует о высокой загрузке сети железных дорог.

В работе профессора А. Т. Осьминина [5] отмечается, что в современных условиях освоение растущих объемов перевозок и повышение качества услуг возможны лишь на основе совершенствования перевозочного процесса и внедрения инновационных решений. Автор предлагает на основе многокритериального расчета плана формирования грузовых поездов разработать методику расчета адаптивного плана на плановый месяц при сменном-суточном планировании.

В статье Д. Ю. Левина [6] особую актуальность представляют оценка существующего уровня и повышение эффективности использования перевозочных возможностей железных дорог. Основным подходом автор считает реализацию возможностей оперативного управления поездобразованием.

Вместе с этим вопрос о значительном понижении участковых скоростей движения грузовых поездов на важнейших грузонапряженных направлениях сети железных дорог в основополагающих работах авторов не рассматривался [7–9].

Далее в статье будут рассмотрены подходы, связанные с необходимостью оценки технических, технологических и организационных возможностей железных дорог по пропуску транзитных поездопотоков, реализации расчетных скоростей движения и уровней загрузки железных дорог.

Технические возможности железных дорог по реализации необходимых объемов перевозок в соответствии с Инструкцией по расчету пропускной и провозной способностей железных дорог¹ в значительной степени определяются известным представлением о пропускной способности $N_{пр}$. Это максимальное число грузовых поездов, которое может быть пропущено по участку железной дороги при определенном техническом обеспечении и принятых условиях организации движения по зеленым сигналам светофоров.

Опыт подтверждает, что за время существования железных дорог потребное количество грузовых поездов на участках и направлениях неоднократно превышало их пропускные способности, что сопровождалось уменьшением участковых скоростей и объемов перевозимых грузов. При этом увеличение загрузки железных дорог характеризовалось их техническим перевооружением, совершенствованием технологического и организационного обеспечения перевозочного процесса.

Практически в каждый период времени железным дорогам к перевозкам предъявлялся определенный, подтвержденный объем грузов, которому соответствовало определенное количество грузовых транзитных поездов. Такое количество поездов может быть определено как внешняя потребная пропускная способность $N_{потр.гр}^{вн}$.

Этот показатель может превышать принятую при построении нормативных графиков графиковую пропускную способность $N_{потр}^{гр}$, смысл которой в определении рационального количества ниток из графика, соответствующих техническим и организационным возможностям железных дорог. Рекомендуется не превышать значения этого показателя при максимальном объеме перевозимых грузов.

В настоящее время нормативный график переориентирован на универсальность. Он содержит максимальное число ниток грузовых поездов, каждая из которых может быть переоформлена на различные типы поездов в соответствии со знаком дробей, которые поставлены у каждой нитки графика.

В нормативном графике не учитываются длительные окна и длительные временные ограничения скорости. На практике нормативный график служит основой для выбора ниток пользователями при составлении

¹ Инструкция по расчету пропускной и провозной способностей железных дорог ОАО «РЖД»: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 4 марта 2022 г. № 545/р.

суточных оперативных графиков движения в Автоматизированной системе построения прогнозных графиков движения поездов на основе имитационного моделирования (АПК ЭЛЬБРУС) и месячных вариантных графиков движения поездов.

Расчетные режимы работы участков и направлений железных дорог, предусмотренные нормативными документами, будут выполняться при соотношении

$$N_{\text{потр}}^{\text{гр}} \geq N_{\text{потр.тр}}^{\text{вн}} \quad (1)$$

В таких случаях специальных исследований организации движения грузовых поездов не требуется.

Однако при нарушении соотношения (1) возникают нерасчетные режимы движения поездов, затрудняется освоение увеличивающихся объемов перевозок. Исследование процессов в этих случаях связано с оценкой возможностей организации движения поездов с помощью системы регулирования движения вслед идущих поездов с двусторонней автоблокировкой.

Для принятой на сети железных дорог системы организации движения поездов с применением двусторонней автоблокировки расчетный интервал между вслед идущими по зеленым сигналам светофоров поездами определяется с помощью выражения:

$$I_{\text{расч}}^{\text{мин}} = \frac{3L_{\text{бу}} + L_n}{V_{\text{расч}}}, \quad (2)$$

где $L_{\text{бу}}$ — длина усредненного блок-участка железной дороги, км;

L_n — расчетная длина грузового поезда из числа обращающихся на участке, км;

$V_{\text{расч}}$ — расчетная скорость, принятая для графиков движения грузовых поездов на участках обращения, км/ч.

В случае параллельного движения только однотипных грузовых поездов максимальное число поездов в сутки, которое может быть пропущено по участку, с учетом времени на организацию ремонтно-восстановительных и модернизационных мероприятий на инфраструктуре (150 мин), при выполнении условия (2), $N_{\text{пр}}$ может быть определено с помощью известного выражения:

$$N_{\text{пр}} = \frac{(T_{\text{сут}} - \Delta T_{\text{ок}}^{\text{расч}}) \cdot \eta}{I_{\text{расч}}^{\text{мин}}}, \quad (3)$$

где $T_{\text{сут}}$ — суточный лимит времени, 24 ч;

$\Delta T_{\text{ок}}^{\text{расч}}$ — расчетная оценка времени на проведение работ на инфраструктуре, 2,5 ч;

η — коэффициент надежности технических средств (может быть принят 0,95).

Для определенности дальнейших расчетов с учетом выражений (2) и (3) рассмотрим минимальный

интервал и максимальное число поездов при $L_{\text{бу}} = 3$ км, $L_n = 1$ км, $V_{\text{расч}} = 80$ км/ч.

При этом

$$I_{\text{расч}}^{\text{мин}} = \frac{3 \cdot 3 + 1}{80} \frac{\text{км} \cdot \text{ч}}{\text{км}} = 0,125 \text{ ч} = 7,5 \text{ мин};$$

$$N_{\text{пр}} = \frac{(1440 \text{ мин} - 150 \text{ мин}) \cdot 0,95}{7,5 \text{ мин}} \approx 163 \text{ поезда/сут.}$$

Это весьма высокое значение пропускной способности, которое, как отмечается, может быть реализовано на участках только в случаях движения однотипных грузовых поездов.

При достаточно высоком среднем весе поезда (около 4000 т) на направлениях железных дорог объем перевезенных за год грузов P с учетом известного соотношения будет равен:

$$P = 365 \cdot N_{\text{пр}} Q_{\text{ср}} = 365 \text{ сут} \cdot 163 \text{ поезда/сут} \cdot 4000 \text{ т} = 238 \text{ млн т/г.}$$

Важнейшим показателем эксплуатационной работы участков и направлений железных дорог является пропуск транзитных грузовых поездов. Такие поезда обеспечивают экономические и другие цели отечественных и зарубежных поставщиков и потребителей товаров, связи регионов, гармонизацию передачи подвижного состава по сети железных дорог и др.

Ранее было введено обозначение потребного количества транзитных грузовых поездов внешних потребителей услуг железных дорог — $N_{\text{потр.тр}}^{\text{вн}}$.

Свойство этой величины — внешние количественные требования к размерам передачи и приема поездов по участкам и направлениям железных дорог транзитных поездов с соседних участков, направлений железных дорог.

Важным свойством величины $N_{\text{потр}}^{\text{гр}}$, которое может быть обеспечено усилиями железной дороги, является то, что она определяется суточным бюджетом времени на пропуск транзитных грузовых поездов, остающимся от пропуска пассажирских, местных поездов, времени на ремонт и модернизацию объектов инфраструктуры и ряда других обстоятельств.

При принятом подходе к организации движения поездов пропуск необходимого числа транзитных грузовых поездов можно было бы считать решенным. Однако на практике в современных условиях на основных грузонапряженных железных дорогах объем перевозок существенно меньше потребного. В значительной степени это связано с более сложной структурой смешанных поездопотоков, грузовых и пассажирских поездов, с вариативностью условий их пропуска по участкам железных дорог, с известным рассогласованием основных длин станционных путей и длин ряда поездов, находящихся в обращении.

Для оценки влияния этих факторов сравним результаты в случаях идеальной и реальной организации движения транзитных грузовых поездов с учетом влияния находящихся в обращении пассажирских поездов, движущихся по зеленым сигналам светофоров, а также времени, запланированного для выполнения необходимых работ в окна.

Приняв нормированные показатели скорости движения грузовых поездов, равной 60 км/ч, количества пассажирских поездов на уровне 10 шт., коэффициента съема грузовых поездов пассажирскими, равным 1,7, и межпоездного интервала между грузовыми поездами, равным 10 мин, можем получить оценку времени для пропуска транзитных грузовых поездов. Для этого, как отмечалось ранее, из суточного бюджета времени вычитается время пропуска пассажирских поездов:

$$\Delta T_{\text{пасс}} = 10 \text{ поездов} \cdot 1,7 \cdot 10 \text{ мин} = 170 \text{ мин.}$$

При оценке времени для пропуска 10 местных поездов при коэффициенте съема 1,0 и при межпоездном интервале 10 мин получаем

$$\Delta T_{\text{мест}} = 10 \text{ поездов} \cdot 1,0 \cdot 10 \text{ мин} = 100 \text{ мин.}$$

С учетом того, что время на проведение окон принято равным 150 мин, лимит времени на пропуск транзитных поездов составит

$$T_{\text{тр}} = (1440 - 170 - 100 - 150)0,95 = 969 \text{ мин.}$$

Число транзитных грузовых поездов составит при принятом интервале между поездами

$$N_{\text{пр}} = \frac{969 \text{ мин}}{10 \text{ мин}} = 97 \text{ поездов.}$$

Сравнение этой величины с ранее полученным значением $N_{\text{пр}} = 163$ поезда/сут показывает, что учет только трех реально существующих обстоятельств — наличия пассажирского движения, окон и заметной местной работы — приводит к существенному снижению возможности пропуска транзитных поездов.

Еще большего снижения пропускной способности транзитных поездов $N_{\text{пр.тр}}$ следует ожидать при учете влияния на организацию движения поездов по участку железной дороги трудностей при приеме поездов на технические станции, особенностей организации движения поездов повышенной массы и длины, в том числе соединенных и контейнерных, влияние плана и профиля пути.

В связи с необходимостью при организации перевозок учитывать основные факторы, влияющие на движение поездов, к показателю пропускной способности участка $N_{\text{пр}}$ следует добавить граничное представление о величине наличной пропускной способности для транзитных грузовых поездов $N_{\text{пр.тр}}^{\text{нал}}$, которое характеризуется движением по зеленым сигналам

светофоров максимального количества транзитных грузовых поездов.

С учетом этого может быть изменено соотношение (1), и при решении вопросов организации движения поездов следует основываться на соотношении

$$N_{\text{пр.тр}}^{\text{нал}} \geq N_{\text{потр.тр}}^{\text{вн}} \quad (4)$$

В этом случае технические и организационные возможности железных дорог совпадают или больше предъявленных внешних требований.

На загруженных железнодорожных магистралях характерным является увеличенный объем перевозимых транзитных грузов и соответствующее увеличение числа транзитных поездов в обращении $N_{\text{обр}}^{\text{тр}}$. Такому процессу на первом этапе нагружения линий соответствует соотношение

$$N_{\text{пр.тр}}^{\text{нал}} \geq N_{\text{обр}}^{\text{тр}} \geq N_{\text{потр.тр}}^{\text{вн}} \quad (5)$$

при котором обеспечивается возможность движения грузовых поездов по зеленым сигналам светофоров.

В случае, если наличная пропускная способность $N_{\text{пр.тр}}^{\text{нал}}$ оказывается меньше числа поездов, введенных в обращение, т. е.:

$$N_{\text{пр.тр}}^{\text{нал}} < N_{\text{обр}}^{\text{тр}} \leq N_{\text{потр.тр}}^{\text{вн}} \quad (6)$$

то нарушаются закономерности, предусмотренные в соотношениях (2) и (3), расстояния между поездами уменьшаются и снижается скорость движения поездов в связи с движением на желто-зеленые сигналы светофоров.

Предложенный далее способ определения пропускной способности транзитных грузовых поездов открывает новые методические подходы к определению граничного значения количества «хороших» транзитных поездов, при котором скорость движения поездов остается расчетной и только при дальнейшем увеличении числа транзитных грузовых поездов начинает уменьшаться из-за движения по желто-зеленым сигналам светофоров.

Таким образом, определив $N_{\text{пр.тр}}^{\text{нал}}$, мы получаем оценку того максимального количества транзитных поездов, которые могут быть пропущены по участку или направлению железной дороги по зеленым сигналам светофоров при принятой структуре поездопотока и определенных условиях пропуска поездов.

При необходимости повышения объемов перевозимых транзитными поездами грузов возможно увеличение $N_{\text{пр.тр}}^{\text{нал}}$ за счет совершенствования структуры поездопотоков и условий пропуска поездов внутри участков и направлений железных дорог. Однако эффективность таких действий имеет ограниченные возможности.

По результатам расчетов $N_{\text{пр.тр}}^{\text{нал}}$ могут быть приняты более радикальные решения, например, усиление устройств инфраструктуры. При этом возможно

строительство дополнительных путей, удлинение станционных путей, возможно усиление тягового обеспечения, использование вагонов повышенной грузоподъемности и габаритов.

Дальнейшие исследования движения поездов с пониженными скоростями по желто-зеленым сигналам светофоров позволят более обоснованно сочетать необходимость освоения растущих объемов перевозок с выбором эффективных мер по обеспечению их освоения.

В течение длительного времени грузонапряженные направления железных дорог работают в режимах пропуска транзитных грузовых поездов в соответствии с соотношением (6). Число транзитных поездов в обращении $N_{обр}^{тр}$ превышает наличную пропускную способность $N_{пр.тр}^{нал}$. В таких условиях несколько увеличиваются размеры движения, но снижается скорость поездопотока, увеличивается эксплуатационный парк локомотивов, число локомотивных бригад, изменяется ряд других важных эксплуатационных показателей. И на данный момент на ряде железных дорог основных грузонапряженных направлений сети

по статистическим данным ОАО «РЖД» участковая скорость находится на уровне 32–34 км/ч, что почти в полтора раза меньше нормативных значений.

Переходные процессы организации движения грузовых поездов, при которых расстояния между поездами изменяются от трех блок-участков до двух, исследованы недостаточно и не в полной мере объясняют наблюдаемые в эксплуатации негативные изменения основных показателей поездной работы.

Для оценки влияния изменений расстояний между поездами на скорость движения поездов и на количество поездов в обращении предлагается рассмотреть упрощенную модель участка, по которому движется поток однородных грузовых поездов, рассматриваемых в виде точек, при этом участок оборудован трехзначной автоматической блокировкой с равными длинами блок-участков.

На рис. 1 приведены расположение поездов и скорости их передвижения в зависимости от расстояний между поездами на участке А–В при двенадцати одинаковых блок-участках.

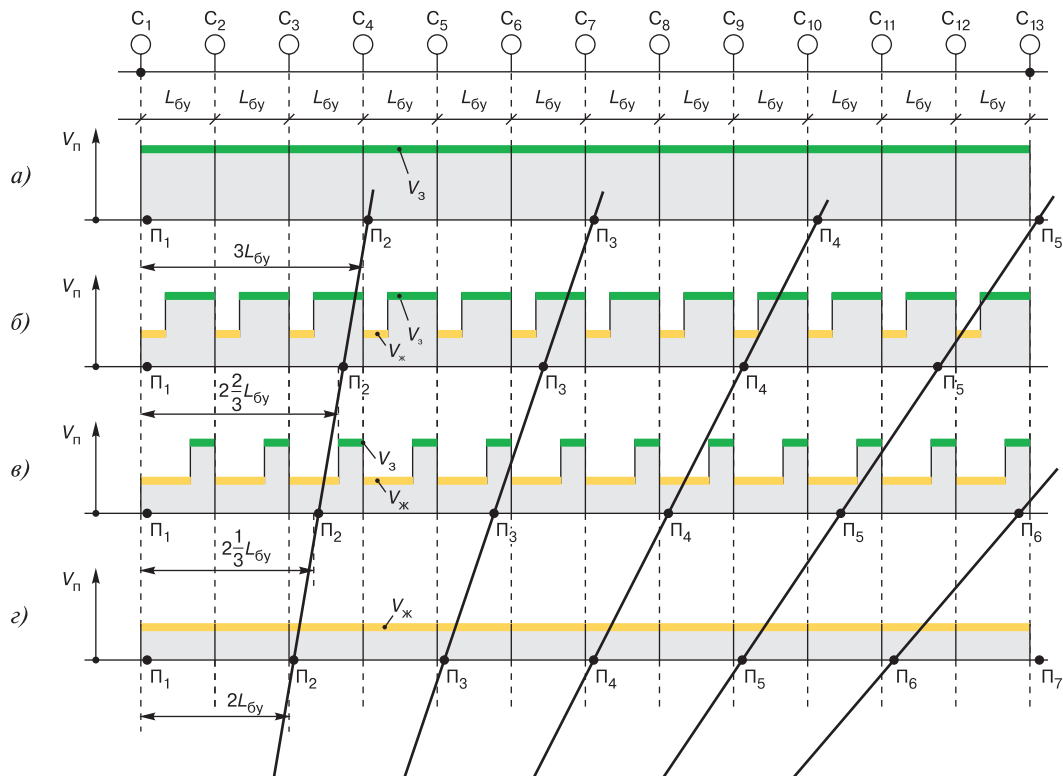


Рис. 1. Диаграммы расположения участковых скоростей движения поездов по блок-участкам при изменении расстояний между ними*:
 $a - 3L_{6y}$; $б - 2\frac{2}{3}L_{6y}$; $в - 2\frac{1}{3}L_{6y}$; $г - 2L_{6y}$; C_1-C_{13} — светофоры; $\Pi_1-\Pi_7$ — поезда; V_3 — средняя скорость при зеленом сигнале светофора;
 $V_{ж}$ — средняя скорость при желтом сигнале светофора

* Источник: данные авторов

Fig. 1. Diagrams of the location of section train speeds along block sections when changing the distances between them*:
 $a - 3L_{6y}$; $б - 2\frac{2}{3}L_{6y}$; $в - 2\frac{1}{3}L_{6y}$; $г - 2L_{6y}$; C_1-C_{13} — traffic lights; $\Pi_1-\Pi_7$ — trains; V_3 — average speed at green traffic light signal;
 $V_{ж}$ — average speed at yellow traffic light signal

* Source: authors' data

На рис. 1, а поезда показаны в виде точек Π_1 – Π_5 , которые расположены на расстоянии трех блок-участков друг от друга. В соответствии с этим при трехзначной автоматической блокировке максимальная скорость поездов будет реализовываться со скоростями, принятыми при движении на зеленые сигналы светофоров. При этом на участке А–В разместится максимально возможное при движении по зеленым сигналам число поездов — четыре.

На рис. 1, б и 1, в показано, как уменьшается средняя скорость движения поездов при переходе от $3L_{\text{б.у}}$ к $2\frac{2}{3}L_{\text{б.у}}$ и к $2\frac{1}{3}L_{\text{б.у}}$. Одновременно число поездов на участках 1, б и 1, в увеличивается до пяти.

На рис. 1, г расстояние между поездами принято равным $2L_{\text{б.у}}$. В соответствии с этим максимальная скорость передвижения поездов не превышает допустимой скорости движения по желтым сигналам светофоров. Число поездов на участке при этом достигает шести.

Приведенные на рис. 1 соотношения скоростей движения поездов, расположение поездов на участ-

ке А–В показывают, что при допущениях о равенстве блок-участков, принятых максимальных скоростях движения при зеленых и желтых сигналах светофоров для всех вслед идущих поездов соблюдение расстояний между поездами на уровне трех блок-участков обеспечивает реализацию скоростей на уровне допустимой по зеленым сигналам светофоров. Уменьшение расстояния между поездами менее трех блок-участков определяет движение со средней скоростью, связанной с движением по желто-зеленым сигналам светофоров, при этом несколько увеличивается число грузовых поездов в обращении.

Для определения закономерностей изменения скоростей движения поездов при уменьшении расстояния между поездами впервые вводится параметр, изменяющийся от 0 до 1, определяющий расстояние впереди идущего поезда внутри третьего блок-участка от границы этого участка $x \cdot L_{\text{б.у}}^3$.

На рис. 2 приведены допустимые скорости движения поезда Π_1 при синхронном движении его с впереди идущим поездом Π_2 , расположенным между свето-

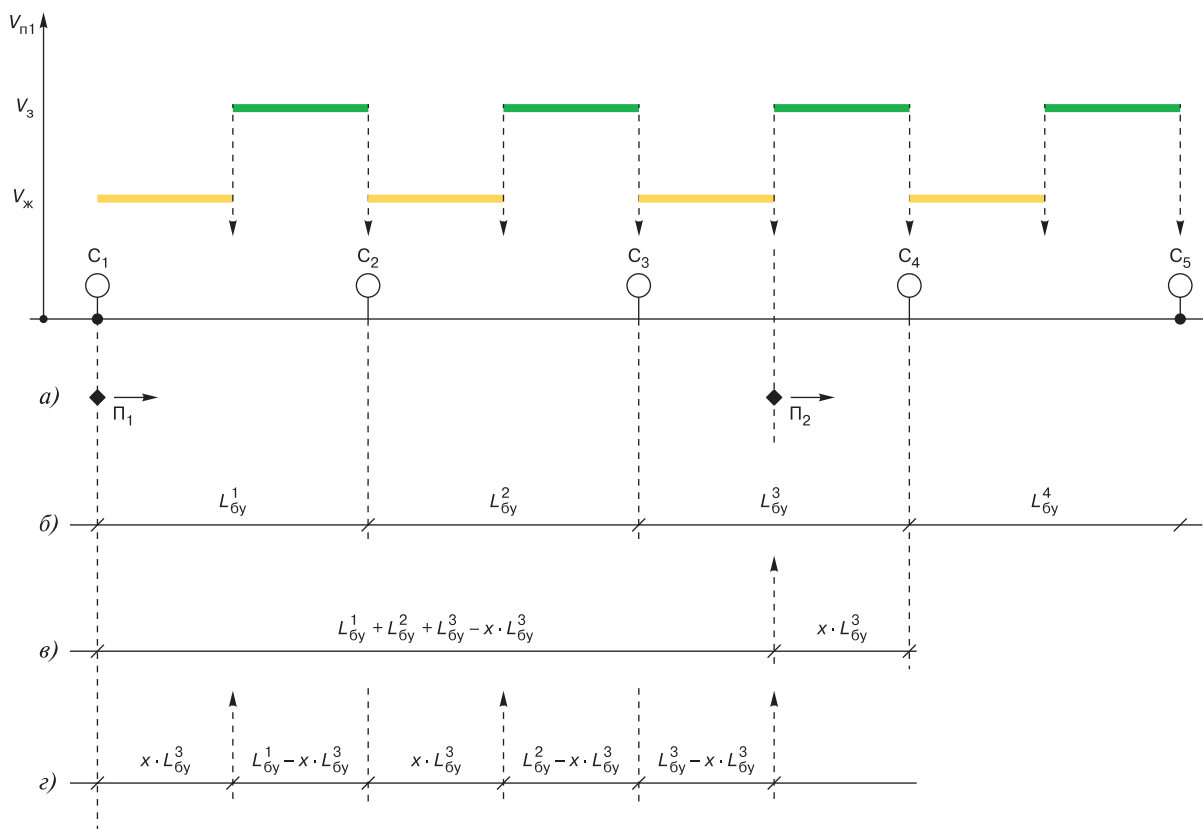


Рис. 2. Допустимые скорости поезда Π_1 при изменении расстояния до впереди идущего поезда Π_2 (а); б — по зеленому сигналу светофора, $x = 0$; в, г — по желто-зеленому сигналу светофоров*

* Источник: данные авторов

Fig. 2. Permissible train speeds Π_1 when changing distance to the Π_2 train in front (a); б — at green traffic light signal, $x = 0$; в, г — at yellow-green traffic lights signal*

* Source: authors' data

форами C_3 и C_4 . Поезд Π_2 расположен на расстоянии $x \cdot L_{\text{бy}}^3$ от светофора C_4 (рис. 2, θ). Величина x изменяется от 0 до 1. При $x = 0$ расстояние между поездами составляет $3L_{\text{бy}}$, при этом движение поездов осуществляется по зеленым сигналам светофоров (рис. 2, δ); при $x = 1$ расстояние между поездами составляет $2L_{\text{бy}}$, и поезда следуют по желтым сигналам светофоров (рис. 2, θ).

При промежуточном положении поезда Π_2 на третьем блок-участке $0 \leq x \leq 1$ максимальные скорости поездов Π_1 и Π_2 при принятых условиях ($L_{\text{бy}}$ равны, $V_{\text{п}}$ равны, $L_{\text{п}} = 0$, переключение скоростей происходит мгновенно) отображаются ступенчатой фигурой. Для поезда Π_1 кривая скорости приведена на рис. 2, a .

Поезд Π_1 движется вслед за поездом Π_2 на желтый сигнал светофора на протяжении отрезка $x \cdot L_{\text{бy}}$ и на зеленый сигнал светофора на отрезке $L_{\text{бy}} - x \cdot L_{\text{бy}}$. С учетом этого можно определить важнейший показатель — среднюю скорость движения поездов $V_{\text{ср}}^x$. Для этого приравняем время движения по участку со средней скоростью к времени движения по участку по желтым и зеленым сигналам светофоров:

$$\frac{L_{\text{бy}}}{V_{\text{ср}}^x} = \frac{x \cdot L_{\text{бy}}}{V_{\text{ж}}} + \frac{(1-x) \cdot L_{\text{бy}}}{V_{\text{з}}}. \quad (7)$$

После преобразований выражение для $V_{\text{ср}}^x$ представим в виде:

$$V_{\text{ср}}^x = \frac{V_{\text{ж}} \cdot V_{\text{з}}}{(1-x) \cdot V_{\text{ж}} + x \cdot V_{\text{з}}}, \quad (8)$$

при величине x в диапазоне от 0 до 1 ($0 \leq x \leq 1$).

На рис. 3 приведены зависимости средних скоростей движения поездов при принятых условиях от положения впереди идущего поезда ($0 \leq x \leq 1$) и разрешенных скоростей движения по желтым и зеленым сигналам светофоров.

Отметим, что в соответствии с (8), как это показано на рис. 3, средние скорости движения при сближении впереди и вслед идущих поездов описываются крутопадающими нелинейными зависимостями.

Принятая модель движения поездов однозначно позволяет оценивать существенное влияние расстояний между поездами при переходе от движения по зеленым сигналам светофоров к движению по желто-зеленым и желтым сигналам.

На рис. 4 представлено возможное увеличение максимального числа поездов на участке длиной $L_{\text{уч}} = 180$ км.

Максимально возможное размещение поездов на участке определяется с помощью выражения (9)

$$N_{\text{max}}^x = \frac{L_{\text{уч}}}{(3-x) \cdot L_{\text{бy}}}. \quad (9)$$

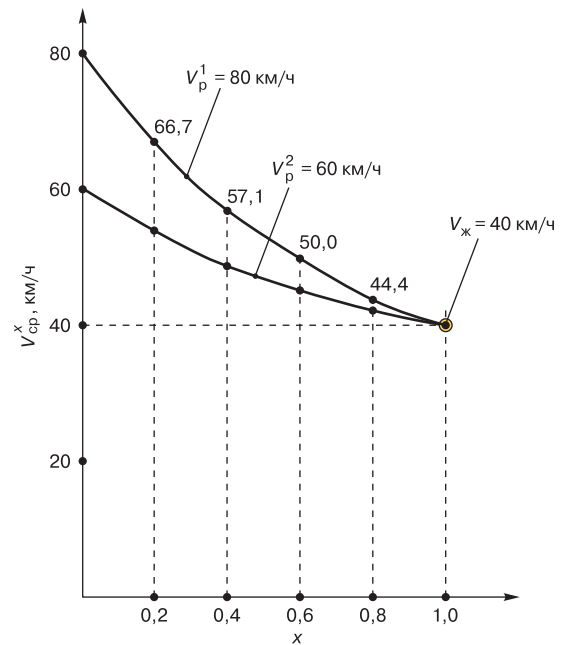


Рис. 3. Зависимость средних скоростей движения поездов от положения впереди идущего поезда ($0 \leq x \leq 1$) и разрешенных скоростей движения по зеленым ($V_3 = 60, 80$ км/ч) и желтым ($V_{\text{ж}} = 40$ км/ч) сигналам светофоров*
* Источник: данные авторов

Fig. 3. Dependence of average train speeds on the position of the train in front ($0 \leq x \leq 1$) and allowed speeds according to green ($V_3 = 60, 80$ km/h) and yellow ($V_{\text{ж}} = 40$ km/h) traffic lights signals*
* Source: authors' data

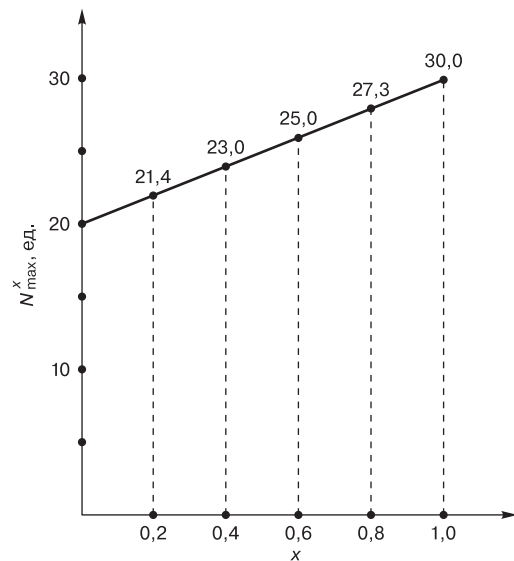


Рис. 4. Максимальное число поездов N_{max}^x в зависимости от расстояния между поездами ($0 \leq x \leq 1$) на участке длиной 180 км при $L_{\text{бy}} = 3$ км*
* Источник: данные авторов

Fig. 4. Maximum number of N_{max}^x trains depending on the distance between trains ($0 \leq x \leq 1$) on a 180 km long section with $L_{\text{бy}} = 3$ km*
* Source: authors' data

При расстоянии между поездами в два блок-участка максимальное число поездов $N_{\max}^{x=1}$ в полтора раза больше, чем при расстоянии в три блок-участка, но скорость при этом может быть в полтора-два раза меньше, чем при трех блок-участках.

Отметим, что учет длины и ускорений поезда при смене сигналов автоблокировки не вызывает затруднений, но при этом существенно усложняется вид зависимостей скоростей продвижения поездов по желто-зеленым сигналам светофоров от расстояния между поездами. В связи с этим в выражениях (7)–(9) может быть учтен еще один важный параметр — длина поезда L_n .

Для упрощения выражения для средней скорости (8) введем соотношение $K_{L_n} = \frac{L_n}{L_{\text{бл}}}$. С учетом этого

$$\frac{L_{\text{бл}}}{V_{\text{ср}}^x} = \frac{x \cdot L_{\text{бл}} + L_n}{V_{\text{ж}}} + \frac{(1-x)L_{\text{бл}} - L_n}{V_3}. \quad (10)$$

Из выражения (10) получаем

$$V_{\text{ср}}^x = \frac{V_{\text{ж}} \cdot V_3}{(1-x-K_{L_n}) \cdot V_{\text{ж}} + (x+K_{L_n}) \cdot V_3}. \quad (11)$$

При $V_3 = 80$ км/ч и $V_{\text{ж}} = 40$ км/ч, $x = 0,5$ и $K_{L_n} = 0,3$, $L_{\text{бл}} = 3$ км и $L_n = 1$ км, а также при сравнении $V_{\text{ср}}^x$ с по-

мощью выражений (8) и (11) можно оценить влияние длины поезда на среднюю скорость движения условного потока поездов:

$$V_{\text{ср}}^{x=0,5} = \frac{80 \cdot 40}{0,5 \cdot 80 + 0,5 \cdot 40} = 53,3 \text{ км/ч,}$$

при $K_{L_n} = 0$;

$$V_{\text{ср}}^{x=0,5} = \frac{80 \cdot 40}{0,8 \cdot 80 + 0,2 \cdot 40} = 44,4 \text{ км/ч,} \quad (12)$$

при $K_{L_n} = 0,3$.

Заметным уточнением средней скорости движения по желто-зеленым сигналам светофоров является учет ускорений: a_p — ускорений разгона поезда при переходе от желтых сигналов к зеленым и a_t — ускорений торможения поезда при переходе от зеленых к желтым сигналам светофоров.

На рис. 5 представлены процессы разгона и торможения при принятых значениях $V_{\text{ж}}$ и V_3 , ускорений a_p и a_t , длины блок-участка $L_{\text{бл}}$.

С помощью известных формул механики определяем время разгона и замедления поезда:

$$t_p = \frac{V_3 - V_{\text{ж}}}{a_p}, \quad (13)$$

$$t_t = \frac{V_3 - V_{\text{ж}}}{a_t}. \quad (14)$$

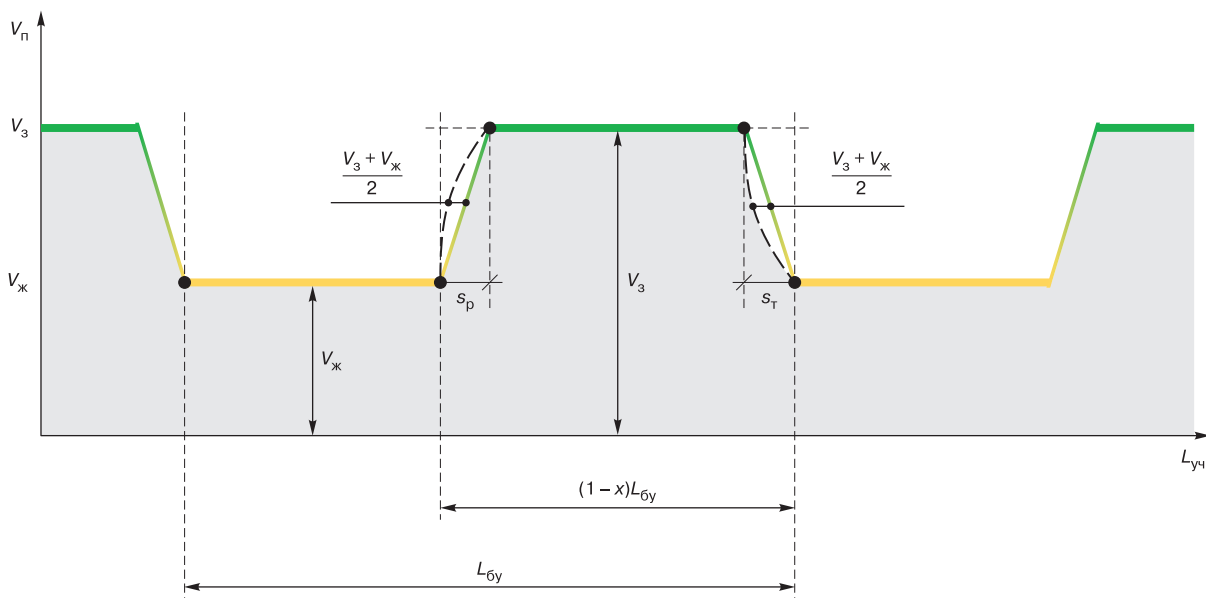


Рис. 5. Влияние ускорений разгона и торможения на реализацию максимальной скорости поезда при движении по желто-зеленым сигналам светофоров*:

s_p — участок разгона; s_t — участок торможения

* Источник: данные авторов

Fig. 5. Effect of starting and braking accelerations on the realisation of the maximum train speed when moving along the yellow-green traffic lights signals*:

s_p — starting section; s_t — braking section

* Source: authors' data

Пути разгона и торможения, отмеченные на рис. 5, определяются с помощью выражений:

$$s_p = \frac{a_p \cdot t_p^2}{2}, \quad (15)$$

$$s_T = \frac{a_T \cdot t_T^2}{2}. \quad (16)$$

Эти выражения характеризуются параболической зависимостью от времени разгона и торможения, которые в реальных условиях слабо выражены и могут быть заменены линейными зависимостями.

С учетом этого средняя скорость на отрезках s_p и s_T принимается равной

$$V_{cp}^{s_p} = V_{cp}^{s_T} = \frac{V_3 + V_{ж}}{2}. \quad (17)$$

Для оценки отмеченных величин примем $V_3 = 80$ км/ч, $V_{ж} = 40$ км/ч, $a_p = 0,08$ м/с², $a_T = 0,15$ м/с².

С учетом этого в соответствии с (13) и (14):

$$t_p = \frac{80 - 40}{0,08 \cdot 3,6} = \frac{40}{0,29} = 139 \text{ с},$$

$$t_T = \frac{40}{0,15 \cdot 3,6} = \frac{40}{0,54} = 74 \text{ с}.$$

Участки разгона и торможения s_p и s_T в соответствии с выражениями (15) и (16) составят:

$$s_p = \frac{0,08 \cdot 139^2}{2} = \frac{0,08 \cdot 19\,321}{2} = 773 \text{ м},$$

$$s_T = \frac{0,15 \cdot 74^2}{2} = \frac{0,15 \cdot 5476}{2} = 411 \text{ м}.$$

Для упрощения выражения для средней скорости введем промежуточный показатель K_a :

$$K_a = \frac{V_3^a}{V_3} = \frac{(1-x) \cdot L_{\text{бл}} (V_3 - V_{ж})}{(s_p + s_T)(V_3 - V_{ж}) + (1-x)L_{\text{бл}} \cdot (V_3 + V_{ж})}. \quad (18)$$

Это соотношение может быть добавлено в выражение (11), в котором уже учтен коэффициент влияния длины поезда K_{L_n} :

$$V_{cp}^{x, L_n, a} = \frac{V_{ж} \cdot V_3^a}{(1-x-K_{L_n}) \cdot V_{ж} + (x+K_{L_n}) \cdot V_3^a} = \frac{K_a \cdot V_{ж} \cdot V_3}{(1-x-K_{L_n}) \cdot V_{ж} + (x+K_{L_n}) \cdot K_a \cdot V_3}. \quad (19)$$

В дальнейшем выражение (19) может быть использовано при необходимости уточнения результатов расчетов средних скоростей движения для реальных участков и направлений движения поездов. Учет длины

поезда и ускорений разгона и замедления при смене сигналов светофоров влияет на снижение средних скоростей движения поездов.

При исследовании влияния расположения поездов на блок-участках, характеризуемых параметром x , на среднюю скорость движения поезда будем пользоваться полученным ранее упрощенным выражением (8), сохраняя возможность наглядного оценивания физических закономерностей.

В результате принятой методики расчета пропускной способности участка железной дороги, оборудованного трехзначной автоблокировкой, расчетным путем определена зависимость средней скорости движения поезда при следующих условиях.

Если расстояние между вслед идущими поездами больше или равно трем блок-участкам, то поезд может следовать с любой разрешенной скоростью. В нашем случае это расчетная скорость движения грузовых поездов, предусмотренная в нормативном графике движения.

Если интервал между поездами меньше трех блок-участков и больше или равен двум блок-участкам, поезд движется с переменной скоростью то по желтым, то по зеленым сигналам светофоров.

Участковая скорость и ее анализ. Важнейшим показателем эксплуатационной работы является участковая скорость — средняя скорость потока грузовых поездов по участку железной дороги без учета стоянок на технических станциях.

Участковая скорость определяется в соответствии с выражением:

$$V_{\text{уч}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_i} L_i}{\sum T_i}, \quad (20)$$

где L_i — пробег каждого i -го грузового поезда по участку;

$1 \leq i \leq N_{\text{обр}}$, где $N_{\text{обр}}$ — число поездов на участке обращения;

$\sum_{i=1}^{N_{\text{обр}}} T_i$ — суммарное время обращения поездов по участку.

Для каждого поезда время обращения составит:

$$T_i = \frac{L_{\text{уч}}}{V_{cp\,i}} + \Delta T_i, \quad (21)$$

где $L_{\text{уч}}$ — длина участка;

$V_{cp\,i}$ — средняя скорость движения i -го поезда;

ΔT_i — время задержки i -го поезда на участке обращения.

Воспользовавшись представлениями о принятой нами идеальной модели поездопотока по участку железной дороги, при которой $L_i = L_{\text{уч}}$, средняя скорость

движения $V_{ср i}$ вычисляется по формуле (8) и одинакова для каждого из N_i поездов.

Из выражений (20)–(21) получаем

$$V_{уч} = \frac{N_i \cdot L_{уч}}{\left(\frac{L_{уч}}{V_{ср i}} + \Delta T_i\right) \cdot N_i} = \frac{L_{уч}}{\frac{L_{уч}}{V_{ср i}} + \Delta T_i} \quad (22)$$

На рис. 6 приведены зависимости участковых скоростей от расстояний между вслед идущими поездами и величинами задержек каждого поезда на участке в широком диапазоне изменения от 0 до 10 ч.

Примечательно, что увеличение задержек значительно снижает участковую скорость. Этому способствуют увеличение количества поездов в обращении числом более наличной пропускной способности, значительные задержки в виде окон, предупреждений о снижении скорости, повреждений технических средств.

Статистические исследования участковых скоростей на грузонапряженных участках железных дорог подтверждают наличие зоны существенного снижения скорости движения поездов при увеличении их числа до предельно допустимых в эксплуатации величин.

На рис. 7, а приведена такая усредненная зависимость участковой скорости от уровня заполнения пропускной способности. Отметим, что зона взаимного влияния поездов в потоке начинает действовать с уровня заполнения пропускной способности $(0,7 \div 0,8)$ и при полном заполнении пропускной способности $(1,0)$ участковая скорость снижается до уровня $(0,4 \div 0,6) \cdot V_{уч}$ от расчетной скорости V_p .

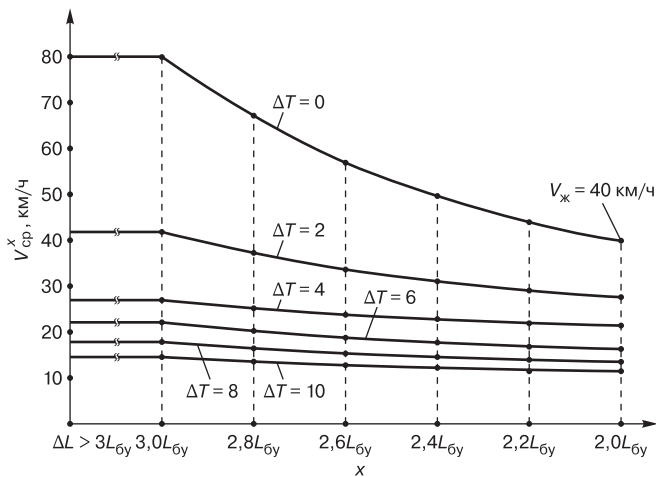


Рис. 6. Зависимость участковой скорости от расстояния между поездами ΔL при пропуске поездопотока и от величин задержек поезда ΔT (ч) на участке их обращения*
* Источник: данные авторов

Fig. 6. Dependence of service speed on the distance between trains ΔL when passing train traffic and on the magnitude of train delays ΔT (h) in the circulation section*
* Source: authors' data

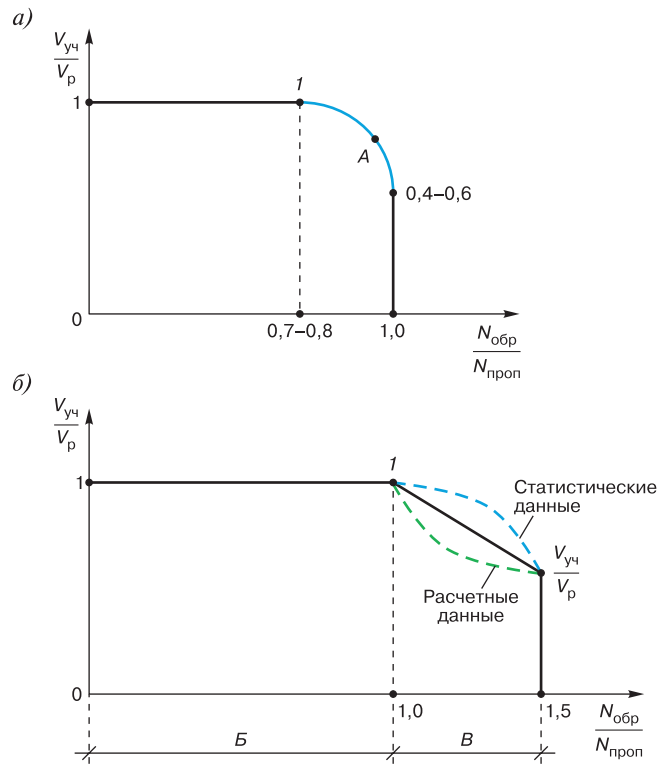


Рис. 7. Сопоставление усредненных статистических $V_{уч}$ и расчетных участковых V_p скоростей в зависимости от соотношения наличной пропускной способности $N_{проп}$ и числа поездов в обращении $N_{обp}$ *:
а — при движении по зеленым сигналам светофоров;
б — при движении по желто-зеленым сигналам светофоров;
А — зона взаимного влияния поездов в потоке; Б — при движении по зеленым сигналам светофоров; В — по желто-зеленым сигналам светофоров
* Источник: данные авторов

Fig. 7. Comparison of the averaged statistical $V_{уч}$ and calculated V_p service speeds depending on the ratio of available traffic capacity $N_{проп}$ and the number of trains in circulation $N_{обp}$ *:
а — when driving at green traffic lights; б — at yellow-green traffic lights;
А — zone of mutual influence of trains in the flow; Б — when driving at green traffic lights signals; В — at yellow-green traffic lights signals
* Source: authors' data

Учитывая результаты выполненных исследований, стоит отметить, что снижение участковой скорости следует ожидать при превышении наличной пропускной способности количеством транзитных поездов в обращении. Практически расчетная величина начала снижения участковой скорости около 0,7 совпадает со статистическими данными.

С другой стороны, граница кривой на рис. 7, а, определяемая соотношением

$$\frac{N_{обp}}{N_{проп}} = 1,$$

является условной, и после выполненных исследований требуется ее корректировка, т. к. снижение участковой скорости до 0,5 свидетельствует о движении

грузовых поездов в определенном интервале по желто-зеленым сигналам светофоров, и это противоречит определению пропускной способности участка, при которой должно обеспечиваться движение по зеленым сигналам светофоров. При корректировке рис. 7, а на горизонтальной оси следует отложить расстояние в виде отношения числа грузовых поездов в обращении к наличной пропускной способности $\frac{N_{обр}}{N_{нал}}$.

Можно отметить две характерные точки, определяемые соотношениями $\frac{N_{обр}}{N_{нал}} = 1$ и $\frac{1,5N_{обр}}{N_{нал}} = 1,5$.

В первом случае точка характеризует левую границу зоны движения по зеленым сигналам светофоров, вторая точка разграничивает зоны движения поездов по желто-зеленым и на красные сигналы светофоров.

На рис. 7, б пунктиром показаны аппроксимирующие кривые участковой скорости, обычно используемые при статистической обработке опытных данных и получаемые в результате расчетов по упрощенной модели.

Учитывая трудности получения полноценных статистических опытных данных и увеличение сложности расчетной модели, например, при разных длинах блок-участков на участках обращения грузовых поездов, целесообразно аппроксимировать кривую участковой скорости на участке движения по желто-зеленым сигналам светофоров прямой линией, проходящей через две точки.

Первая точка имеет координаты

$$(V_{уч} = V_p; N_{обр} = N_{нал}),$$

вторая точка имеет координаты

$$(V_{уч} = 0,5V_p; N_{обр} = 1,5N_{нал}).$$

Таким образом, выполненные исследования, в которых отмечена необходимость ввода понятия наличной пропускной способности транзитных грузовых поездов, связанной с факторами, влияющими на пропуск максимального числа транзитных грузовых поездов, позволяют перейти к более обоснованной форме зависимости, приведенной на рис. 7, б.

Важнейшим результатом сравнения статистических и расчетных данных изменений зависимостей участковой скорости от количества грузовых поездов на участках обращения является закономерность, установленная в работе: движение поездов по желто-зеленым сигналам светофора определяет снижение скорости каждого поезда и совокупности поездов в потоке при уменьшении расстояния между вслед идущими поездами.

Участковая скорость в значительной степени определяет технико-экономические показатели работы железных дорог, такие как размеры эксплуатируемых парков вагонов и локомотивов, количество локомо-

тивных бригад, сроки доставки грузов, расход энергии на тягу поездов и др.

На грузонапряженных участках железных дорог часто складывается эксплуатационная ситуация, при которой наличной пропускной способности недостаточно и практически движение большого числа транзитных грузовых поездов происходит по желто-зеленым сигналам светофоров.

Общепринятая формула для определения годового грузооборота

$$\Gamma = m_{cp} \cdot N_{пр} \cdot L_{уч} \cdot 365, \text{ ткм} \cdot \text{бр/год}$$

не дает ответов на эти вопросы.

Представим грузооборот в более динамичном виде за сутки — $\Gamma_{сут}$.

$$\Gamma_{сут} = m_{cp} \cdot N_{сут}^{пр} \cdot V_{cp} \cdot 24 \cdot 0,5, \quad (23)$$

где m_{cp} — средняя масса поезда, т;

$N_{сут}^{пр}$ — пропускная способность участка, поезд.;

V_{cp} — средняя скорость движения поездов по участку, км/ч;

24 — часов в сутки;

0,5 — коэффициент, усредняющий пути, проходимые поездами за сутки.

При расчетах по формуле (23) важную роль играют разрешенные величины скоростей — движение по зеленым сигналам светофоров, по желто-зеленым сигналам, а также расстояния между вслед идущими поездами.

Если принять $m_{cp} = 4000$ т, $V_3 = 60$ км/ч, $V_ж = 40$ км/ч, $L_{бу} = 3$ км, то в соответствии с выражениями (24)–(25) суточный грузооборот при расстоянии между вслед идущими поездами три и два блок-участка будет равен:

$$\begin{aligned} \Gamma_{сут}^3 &= 4000 \cdot \frac{V_3 \cdot 24}{9} \cdot V_3 \cdot 12 = \\ &= 460\,800\,000 \text{ ткм} \cdot \text{бр/сут} = 460,8 \cdot 10^6 \text{ ткм} \cdot \text{бр/сут}, \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \Gamma_{сут}^ж &= 4000 \cdot \frac{V_ж \cdot 24}{6} \cdot V_ж \cdot 12 = \\ &= 307\,200\,000 \text{ ткм} \cdot \text{бр/сут} = 307,2 \cdot 10^6 \text{ ткм} \cdot \text{бр/сут}. \end{aligned} \quad (25)$$

Если расстояние между поездами равно $2,5L_{бу} = 7,5$ км, то

$$N_{пр}^{ж-3} = \frac{V_ж \cdot V_3 \cdot 24}{[(1 - 0,5) \cdot V_ж + 0,5 \cdot V_3] \cdot 7,5} = 153,6 \quad (26)$$

и

$$\Gamma_{сут}^{ж-3} = 4000 \cdot 153,6 \cdot 50 \cdot 12 = 368,7 \cdot 10^6 \text{ ткм} \cdot \text{бр/сут}. \quad (27)$$

Отметим, что в выражениях (25)–(27) пропускная способность $N_{пр}$ определяется умножением принятой скорости движения на 12 часов — время, рассматриваемое для определения эксплуатационных показателей.

Полученное расстояние делим на принятое расстояние между поездами и получаем максимальное число грузовых поездов, которое может быть представлено на рассматриваемом участке.

Сравнение результатов расчетов по выражениям (25)–(27):

$$\Gamma_{\text{сут}}^3 : \Gamma_{\text{сут}}^{\text{ж}^{-3}} : \Gamma_{\text{сут}}^{\text{ж}} \Rightarrow \\ \Rightarrow 460,8 \cdot 10^6 : 368,7 \cdot 10^6 : 307,2 \cdot 10^6 = 1,5 : 1,25 : 1, \quad (28)$$

где $\Gamma_{\text{сут}}^{\text{ж}} = 307,2 \cdot 10^6$ ткм · бр/сут показывает весьма значительное влияние скорости пропуска поездов по участку.

При увеличении скорости движения по зеленым сигналам светофоров до 80 км/ч соотношение (28) существенно изменится в пользу более быстрого пропуска поездов:

$$\Gamma_{\text{сут}}^{\text{ж}(80)} = 4000 \cdot \frac{80 \cdot 24}{9} \cdot 80 \cdot 12 = 819,2 \cdot 10^6 \text{ ткм} \cdot \text{бр/сут},$$

$$\Gamma_{\text{сут}}^{\text{ж}(80)} : \Gamma_{\text{сут}}^{\text{ж}(60)} : \Gamma_{\text{сут}}^{\text{ж}(40)} \Rightarrow 2,7 : 1,5 : 1.$$

Полученные количественные оценки однозначно определяют скорость движения поездов как важнейший фактор эффективности перевозочного процесса.

Обсуждение. В работе рассмотрен комплекс вопросов, связанных с влиянием увеличения нагруженности железных дорог на качественные и количественные показатели эксплуатационной работы.

При некоторых упрощающих допущениях, не влияющих на основу физических закономерностей рассматриваемых процессов, показано, что причинами снижения участковых скоростей на грузонапряженных направлениях сети железных дорог являются: превышение наличной пропускной способности транзитных грузовых поездов на участках и направлениях железных дорог числом транзитных грузовых поездов, находящихся в обращении на этих участках и направлениях, а также влияние числа, продолжительности и глубины перерывов в движении поездов, связанных с окнами и временными предупреждениями о снижении скоростей движения поездов.

Особо следует отметить очевидные затруднения в организации эксплуатационной работы, связанные с пропуском транзитных поездов, длина которых превышает длины станционных путей на участках и направлениях железных дорог.

В работе получены зависимости для определения средних скоростей движения поездов от количества поездов на участке их обращения. При количестве поездов, меньшем или равном наличной пропускной способности, средняя скорость движения поезда будет равна принятой при разработке графиков движения поездов. При заполнении пропускной способности

большим, чем наличная пропускная способность транзитных грузовых поездов, средняя скорость движения поездов будет уменьшаться по гиперболической зависимости, проходящей через точку с координатами — скорость, принятая при движении по зеленым сигналам светофоров, и наличная пропускная способность, а также через точку с координатами — скорость, допускаемая при желтых сигналах светофоров, и 1,5 наличной пропускной способности. В этих случаях движение поездов происходит попеременно по желтым и зеленым сигналам светофоров.

На основе выполненных исследований предложена корректировка графических представлений статистических и расчетных участковых скоростей в зависимости от соотношения наличной пропускной способности и числа транзитных поездов в обращении.

Введенный показатель $\Gamma_{\text{сут}}$ позволяет оценивать зависимости выполняемой работы грузовыми поездами от их числа на участках обращения.

Приведенные соотношения показывают, что наибольший объем работы грузовых поездов достигается при максимальных скоростях движения по зеленым сигналам светофоров, т. е. при полном использовании наличной пропускной способности.

Заключение. Из материалов работы следует, что основными мероприятиями по повышению эффективности пропуска транзитных поездов на железных дорогах в условиях роста объема грузовых перевозок транзитных поездов могут быть приняты:

- увеличение наличной пропускной способности транзитных грузовых поездов за счет совершенствования технологии перевозок и усиления объектов инфраструктуры;
- существенное уменьшение в обращении числа поездов, длины которых превышают длины станционных путей;
- повышение дисциплины при организации пакетного пропуска поездов в окна;
- согласование наличных пропускных способностей перегонов и технических станций участков;
- переход к параллельным графикам при смешанном движении грузовых и пассажирских поездов.

Реализация этих и ряда других технологических мероприятий позволит увеличить наличную пропускную способность наиболее загруженных участков и направлений железных дорог на 10–15 %.

При устойчивости процессов перенаправления грузов с запада на восток страны и увеличении при этом объемов перевозимых грузов следует ожидать достаточно быстрой окупаемости затрат на усиление инфраструктуры. К таким мероприятиям следует отнести:

- строительство вторых, третьих и четвертых путей на высоконагруженных участках и направлениях железных дорог;

- удлинение станционных путей и увеличение их количества для совершенствования графиков движения поездов и увеличения емкости путевого развития железных дорог;

- спрямление участков железных дорог с кривыми малых радиусов с заменой их кривыми радиусами более 600 м.

Реализация таких мероприятий обеспечит устойчивую, высокоэффективную работу железных дорог на следующие 10–15 лет эксплуатации.

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

Acknowledgments: the authors express gratitude to the reviewers for useful comments that contributed to the improvement 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. Шаров В.А., Бородин А.Ф. Интегрированная технология управления движением грузовых поездов по расписанию // Железнодорожный транспорт. 2011. № 8. С. 11–21. EDN: <https://elibrary.ru/ogyurp>.

Sharov V. A., Borodin A. F. Integrated technology for managing the movement of scheduled freight trains. *Railway Transport*. 2011;(8):11–21. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/ogyurp>.

2. Мехедов М.И., Мугинштейн Л.А. О проблемах организации движения и эффективности использования пропускных способностей станций // Железнодорожный транспорт. 2015. № 7. С. 20–27. EDN: <https://elibrary.ru/udlpcd>.

Mekhedov M. I., Muginshtein L. A. On the problems of traffic management and efficient use of station capacity. *Railway Transport*. 2015;(7):20–27. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/udlpcd>.

3. Лобанов С.В., Мехедов М.И. Факторный анализ причин невыполнения показателей графика движения поездов // Интеллектуальные транспортные системы: материалы IV Международной науч.-практич. конф., 22 мая 2025 г. М.: РУТ (МИИТ), 2025. С. 262–268. <https://doi.org/10.30932/9785002587582-2025-262-268>. EDN: <https://elibrary.ru/lghrhu>.

Lobanov S. V., Mekhedov M. I. Factor analysis of reasons of train timetable indicators noncompliance. *Intelligent transport systems: Proceedings of the Fourth International Scientific and Practical Conference, May 22nd, 2025*. Moscow: Russian University of Transport; 2025. P. 262–268. (In Russ.). <https://doi.org/10.30932/9785002587582-2025-262-268>. EDN: <https://elibrary.ru/lghrhu>.

4. Белогузов И.В., Крылов А.С., Бородин А.Ф., Максимова Е.С. Целевая модель диспетчерского управления на сети железных дорог с применением сквозных принципов // Железно-

дорожный транспорт. 2025. № 9. С. 19–26. EDN: <https://elibrary.ru/ndibly>.

Beloguzov I. V., Krylov A. S., Borodin A. F., Maksimova E. S. The target model of dispatching control on the railway network using end-to-end principles. *Railway Transport*. 2025;(9):19–26. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/ndibly>.

5. Осминин А.Т. Научное решение проблем перевозочного процесса // Железнодорожный транспорт. 2018. № 12. С. 12–17. EDN: <https://elibrary.ru/урхijv>.

Os'minin A. T. Scientific solution of transportation process problems. *Railway Transport*. 2018;(12):12–17. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/урхijv>.

6. 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/wxtrmc>.

Levin D. Yu. Calculation and evaluation of the effectiveness of the use of transportation capabilities of railways. *Railway Science Technology*. 2023;7(3(27)):8–17. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/wxtrmc>.

7. Виноградов С.А., Мехедов М.И., Мугинштейн Л.А., Федюлин В.Г., Устинов В.А., Корниенко Н.В. Метод участковых скоростей для диагностики перевозочного процесса сети железных дорог // Железнодорожный транспорт. 2022. № 4. С. 12–17. EDN: <https://elibrary.ru/hdgpjh>.

Vinogradov S. A., Mekhedov M. I., Muginshtein L. A., Fedulin V. G., Ustinov V. A., Kornienko N. V. Sectional speed method for diagnostics of the transportation process of the railway network. *Railway Transport*. 2022;(4):12–17. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/hdgpjh>.

8. Мугинштейн Л.А., Мехедов М.И. Методические подходы к выявлению факторов, влияющих на стабильность пропуска поездов // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2014. № 2. С. 24–33. EDN: <https://elibrary.ru/tolgtz>.

Muginshtein L. A., Mekhedov M. I. Methodological approaches to revelation of factors influencing the stability of train flow handling. *Russian Railway Science Journal*. 2014;(2):24–33. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/tolgtz>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Михаил Иванович МЕХЕДОВ,

канд. техн. наук, первый заместитель генерального директора, Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, Россия, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10, стр. 1), SPIN-код: 8703-2651, <https://orcid.org/0000-0002-8174-214X>

Лев Александрович МУГИНШТЕЙН,

д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, Россия, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10, стр. 1), Author ID: 762110, <https://orcid.org/0000-0002-7894-7435>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Mikhail I. MEKHEDOV,

Cand. Sci. (Eng.), First Deputy General Director, Railway Research Institute (129626, Moscow, bldg. 1, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), SPIN-code: 8703-2651, <https://orcid.org/0000-0002-8174-214X>

Lev A. MUGINSHTEIN,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, Railway Research Institute (129626, Moscow, bldg. 1, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), Author ID: 762110, <https://orcid.org/0000-0002-7894-7435>

ВКЛАД АВТОРОВ

Михаил Иванович МЕХЕДОВ. Постановка целей и задач, общее руководство исследованием, разработка введения, оценка наличной пропускной способности транзитных грузовых поездов, вывод выражений для средней и участковой скоростей поездов, редактирование и подготовка текста статьи (50 %).

Лев Александрович МУГИНШТЕЙН. Постановка целей и задач, вывод выражений для средней и участковой скоростей движения поездов. Введение понятия динамической провозной способности. Редактирование и подготовка текста статьи (50 %).

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Mikhail I. MEKHEDOV. Setting goals and objectives, general management of research, development of introduction, available capacity of transit freight trains estimation, and output of expressions

for the average and local train speeds, editing and preparation of the text (50 %).

Lev A. MUGINSHTEIN. Setting the goals and objectives, output of expressions for the average and local train speeds. Introduction of the concept of dynamic carrying capacity. Editing and preparation of the text (50 %).

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 09.09.2025, рецензия получена 05.03.2026, принята к публикации 10.03.2026.

The article was submitted 09.09.2025, review received 05.03.2026, accepted for publication 10.03.2026.