

К определению коэффициентов съема пропускной способности участков железных дорог

С. Ю. КИРИЛЛОВА, К. Ю. НИКОЛАЕВ

Акционерное общество «Институт экономики и развития транспорта» (АО «ИЭРТ»), Москва, 105066, Россия

Аннотация. Исследованы факторы, возникающие вследствие применения новых технологий организации движения поездов, особенностей топологии сети железных дорог и влияющие на расчет и использование наличной пропускной способности железнодорожных участков. На основе обобщения результатов массовых аналитических расчетов при автоматизированной разработке паспортов наличной пропускной способности железных дорог сети ОАО «РЖД», анализа нормативных графиков движения поездов, построения экспериментальных графиков движения установлено, что при расчете пропускной способности участков с непараллельным графиком движения поездов и участков с интенсивным пригородным и пригородно-городским движением следует учитывать необходимость обеспечения непрерывности следования поездов разных категорий между станциями технологических стоянок, взаимного расположения поездов в тактовом графике и на смежных участках. Выполнена оценка влияния различных вариантов топологии расчетных участков на их пропускную способность. Приведены рекомендации по изменению критериев разделения железнодорожных линий на расчетные участки: отдельно для расчета пропускной способности и отдельно для расчета коэффициентов съема поездов. Рассмотрено влияние смежных элементов инфраструктуры на потери наличной пропускной способности при невозможности синхронизировать подвост поездов с периодами свободности перегонов и элементов станций для их пропуска и сформулированы рекомендации по их расчету экспериментально — путем построения насыщенных графиков движения поездов или имитационного моделирования. Разработаны расчетные формулы коэффициентов съема поездов при использовании тактового графика в различных видах пассажирского движения и дана оценка влияния рассмотренных видов движения на съем наличной пропускной способности. Результаты исследования предназначены для использования в нормативно-методических документах и автоматизированных системах по расчету, анализу использования и обоснованию развития пропускных и провозных способностей железных дорог.

Ключевые слова: график движения поездов; пропускная способность; коэффициент съема; коэффициент дополнительного съема; съем поездов; паспорт; расчетные участки; поездопотоки; топология сети; пригородное движение; пригородно-городское движение; тактовый график; межпоездной интервал

Основные положения. При пропуске поездов различных скоростных категорий по одним и тем же железнодорожным участкам применяется непараллельный график движения поездов (ГДП). Он используется более чем на 80 % протяженности сети железных дорог.

Для расчета наличной пропускной способности (НПС) при непараллельном ГДП и в целях приведения к единому измерителю использования пропускной способности применяются коэффициенты съема. Они оценивают влияние на НПС пропуска поездов со скоростями и интервалами следования, отличными от скорости движения поездов скоростной категории (по которой определяется НПС) [1].

Взяв за основу определения «съема поездов» и «коэффициент съема» [2], применяемые при разработке ГДП, следует сформулировать аналогичные определения для аналитических расчетов НПС железнодорожных участков.

Съем поездов E — это разность между максимальным числом поездов при параллельном ГДП (НПС участка) и числом поездов той же скоростной категории при непараллельном ГДП:

$$E = n_n - n_{np}, \quad (1)$$

где n_n — наличная пропускная способность участка, пар поездов/сут; n_{np} — максимальное число поездов расчетной скоростной категории, которое может быть проложено при непараллельном ГДП с учетом пропуска по данному участку поездов других скоростных категорий (пассажирских, пригородных, ускоренных грузовых и др.).

Коэффициент съема ε_i — это среднее значение съема поездов расчетной категории, возникающее при пропуске одного поезда другой скоростной категории. Формула расчета съема поездов будет иметь следующий вид:

$$E = \sum \varepsilon_i n_i, \quad (2)$$

n_i — число поездов i -й скоростной категории, поездов/сут (для каждого направления рассчитывается отдельно).

Величина коэффициента съема складывается из основного и дополнительного съема:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{oi} + \varepsilon_{доп}, \quad (3)$$

где ε_{oi} — основной съем (часть коэффициента съема, зависящая от технической оснащенности участка, соотношения времени хода поездов, расстояния между

станциями обгона); $\varepsilon_{\text{доп}}$ — дополнительный съём (часть коэффициента съёма, возникающая вследствие неидентичности перегонов и некратности расположения поездов периоду ГДП — межпоездному интервалу).

Исследования и опыт. В начале XX в. В. Н. Щегловитовым [3] было выявлено влияние поездов срочного обращения на пропускную способность линии при построении ГДП и внедрено понятие съёма поездов. Тогда же были определены зависимости съёма товарных поездов срочными как при одиночной прокладке поездов, так и при прокладке «bis» (пачками). Сделан вывод о том, что для увеличения пропускной способности линий необходимо стремиться прокладывать срочные поезда «bis» [4].

В постреволюционный период был изменен подход к составлению ГДП, в частности было установлено влияние величины дополнительного съёма поездов на пропускную способность [5]. В 1930–40-е гг. большой вклад в развитие вопроса съёма поездов внесли труды В. В. Гранквиста, А. П. Петрова, И. И. Васильева [6, 7, 8]. Ими было установлено рациональное соотношение скоростей грузовых и пассажирских поездов, приведены рекомендации по вопросам определения НПС при непараллельном ГДП.

В 1950–80-е гг. Н. А. Воробьевым, А. Д. Каретниковым, А. К. Угрюмовым, А. Д. Чернюговым [9, 10, 11, 12, 13] на основе анализа нормативных ГДП были проведены исследования влияния расписания и внутрисуточной неравномерности пассажирских поездов на съём НПС. Разработаны формулы расчета коэффициентов съёма на участках с интенсивным пригородным движением, а также участках, на которых обращаются поезда со скоростью свыше 140 км/ч. Данные исследования легли в основу инструкций по расчету НПС железных дорог 1991 г. [14] и 2010 г. [1].

В 2018 г. на федеральном уровне была утверждена методика [15], которая является на сегодня основным документом, определяющим порядок расчета НПС инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования.

Альтернативный подход к определению НПС представил в своей монографии Д. Ю. Левин [16]. Он предложил относить определение пропускной способности участка при непараллельном ГДП через коэффициент съёма к использованию пропускной способности, а не к ее расчету. Автор основывается на том, что пропускная способность — это максимальное число поездов расчетной категории. При этом пропускную способность при непараллельном ГДП предлагается отнести к анализу использования пропускной способности участка.

Расчет НПС сети железных дорог ОАО «РЖД», в том числе и расчет коэффициентов съёма поездов, производится ежегодно и отражается в Паспорте наличной пропускной способности (далее — Паспорт) [17].

Обобщение опыта расчетов и разработки Паспорта по всей сети железных дорог ОАО «РЖД», а также анализ действующих нормативных ГДП позволили выявить особые случаи расчета коэффициентов съёма, которые не учитывались предшествующими исследованиями и не представлены в действующей инструкции [1].

Влияние топологии расчетных участков на съём НПС. Расчет НПС объектов железнодорожной инфраструктуры ведется по так называемым расчетным участкам. По ним также рассчитываются коэффициенты съёма поездов. Задача определения границ расчетных участков является первостепенной, поскольку они оказывают непосредственное влияние как на пропускную способность железнодорожной инфраструктуры, так и на величину коэффициента съёма.

В действующей инструкции [1] приведены следующие критерии разделения железнодорожных линий на расчетные участки:

- расчетные участки, как правило, ограничиваются станциями, где предусмотрено выполнение технических операций: расформирование и формирование поездов, отцепка и прицепка локомотивов, подготовка составов поездов в рейс, оборот пригородных поездов, т. е. зарождение, погашение, слияние и разделение поездопотоков;
- расчетный участок характеризуется близкими по величине размерами грузового и пассажирского движения, одинаковым числом главных путей и средствами сигнализации и связи при движении поездов в его пределах.

В [18] приведены данные о разукрупнении и большей детализации расчетных участков в Паспорте, что позволяет точнее выявить элементы железнодорожной инфраструктуры, ограничивающие пропускную способность, а значит, и более адресно проводить мероприятия по их усилению.

С одной стороны, увеличение детализации расчетных участков позволяет повысить достоверность определения НПС при параллельном ГДП. С другой стороны, при меньших размерах расчетных участков учет влияния на НПС поездов других скоростных категорий и требуемой непрерывности их следования становится недостаточным. Поэтому границы расчетных участков для вычисления значений НПС и ее съёма должны быть различны.

Для расчета коэффициентов съёма авторами предлагаются следующие критерии определения границ расчетных участков:

- участки непрерывны между станциями выполнения технических операций;
- участки имеют одинаковый тип линий.

Проведем сравнение двух вариантов топологии расчетных участков на примере направления В—А, схема которого представлена на рис. 1 (вариант топо-

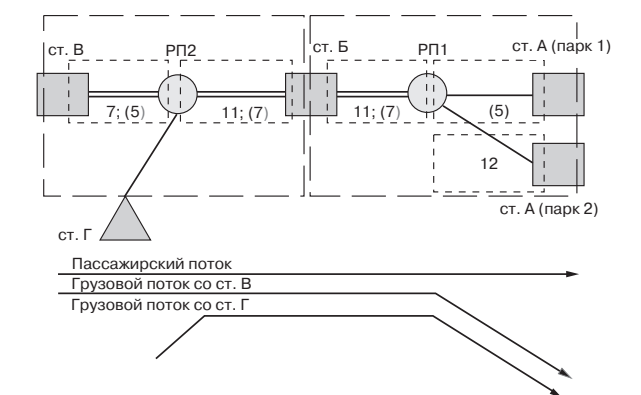


Рис. 1. Схема железнодорожного направления В—А:

■ техническая станция ○ раздельный пункт ▲ станция ответвления
 вариант топологии расчетных участков № 1 ————— вариант топологии расчетных участков № 2
 цифры — чистое время хода поездов по участку, мин (без скобок — грузовых, в скобках — пассажирских)

Fig. 1. Scheme of the railway direction В—А:

■ technical station ○ separate point ▲ branch station
 topology option of the calculated sections no. 1 ————— topology option of the calculated sections no. 2
 numbers — net travel time of trains on the section, min (without brackets — freight, in brackets — passenger)

логии № 1: расчетные участки определены в соответствии с критериями действующей инструкции [1]; вариант топологии № 2: расчетные участки определены по предлагаемым критериям).

По варианту № 1 направление В—А делится на следующие расчетные участки: В—РП2, РП2—Б, Б—РП1 и РП1—А. Данные границы определены исходя из следующих условий, отраженных на рис. 1:

- станции В, Б и А являются техническими;
- к раздельному пункту РП2 примыкает ответвление на станцию Г, поезда с которой следуют в направлении станции А и вызывают изменение размеров движения;
- пути перегона РП1—А специализированы отдельно для грузового и для пассажирского движения, что позволяет распределить поток по разным паркам станции А.

Длительность технических операций, высадки и посадки пассажиров на РП2 не позволяет считать прокладку поездов в ГДП на участке В—РП2 и РП2—Б независимой ни для одной скоростной категории поездов. По этой причине сьем НПС необходимо рассматривать в пределах группы идущих друг за другом расчетных участков, расположенных между станциями технологических стоянок. В связи с этим по варианту № 2 данное направление делится на два расчетных участка: В—Б и Б—А, поскольку они имеют одинаковый тип линии и ограничены техническими станциями.

Сравнения двух вариантов топологии расчетных участков произведем через величину коэффициента

сьема пассажирского поезда, используя формулы действующей инструкции [1]. Результаты расчетов представлены в таблице, данные которой показывают, что при более детализированной топологии расчетных участков (вариант № 1):

1. Уменьшается величина основного сьема за счет снижения фактического числа обгонов внутри расчетного участка, так как при более детализированной топологии расчетных участков время хода поезда между обгонами выходит за их пределы и обгон не учитывается.

2. Увеличивается доля дополнительного сьема, приходящегося на все направление, так как ее величина принимается отдельно для каждого расчетного участка.

3. Занижается коэффициент сьема, приходящийся на каждый расчетный участок, что приводит к недооценке потерь НПС, связанных со сьемом поездов, и к завышению возможности пропуска поездов расчетной скоростной категории.

Для графической проверки результатов аналитических расчетов был построен максимальный ГДП направления В—А, анализ которого показал:

- величина коэффициента сьема остается неизменной при непрерывности линии хода поезда;
- изменение размеров движения не оказывает влияния на величину коэффициента сьема, так как он рассчитывается в среднем на один поезд определенной скоростной категории;
- изменение способа организации движения поездов не оказывает влияния на величину коэффициента сьема (на участке со специализацией главных путей по видам движения сьем НПС распространяется на путь, используемый для движения поездов расчетной скоростной категории, однако величина его остается неизменной);
- графическая проверка подтверждает корректность применения предложенных критериев определения границ расчетных участков для расчета коэффициентов сьема.

Таким образом, основным отличием расчетных участков для определения величины коэффициента сьема является то, что они должны быть непрерывны между станциями выполнения технических операций. При выполнении операций по обслуживанию грузовых и пассажирских (пригородных) поездов на различных станциях (например, внутри железнодорожного узла) расчетные участки должны быть разделены по каждой из технических станций, поскольку сьем поездов будет прерываться.

На рис. 2 представлены результаты оценки влияния топологии расчетных участков на сьем НПС по двум вариантам с использованием данных нормативного ГДП по одному из основных направлений сети железных дорог ОАО «РЖД» (800 км). По варианту топологии № 1 рассматриваемое направление по-

Коэффициенты съема пассажирского поезда по двум вариантам топологии расчетных участков
Descheduling coefficients of passenger train for two topology options of calculated sections

Вариант № 1				Вариант № 2			
Расчетный участок	ε_o	$\varepsilon_{доп}$	Коэффициент съема	Расчетный участок	ε_o	$\varepsilon_{доп}$	Коэффициент съема
В—РП2	1,04	0,50	1,54	В—Б	1,19	0,50	1,69
РП2—Б	1,15	0,50	1,65				
Б—РП1	1,08	0,50	1,58	Б—А	1,34	0,50	1,84
РП1—А	—	—	—				

делено на 26 расчетных участков, по варианту топологии № 2 — на 7 расчетных участков. Для двух расчетных участков границы совпадают по обоим вариантам.

Сравнение результатов расчетов показало, что по варианту топологии расчетных участков № 2 среднее значение коэффициента съема увеличилось: для сборных поездов — в 2 раза; для пассажирских поездов (круглогодичных) — на 7 %; для пассажирских поездов (сезонного и разового назначения) — на 6 %; для пригородных поездов — на 24 %.

В целом применение варианта топологии расчетных участков № 2 привело к снижению результирующей пропускной способности направления на 5 пар поездов в сутки (7 %).

Влияние смежных элементов инфраструктуры на потери НПС. Рассмотрим фрагмент железнодорожной сети на рис. 3. Направления Г—А—Л, З—В—Н, З—Е—Ж с интенсивным пассажирским и пригородным движением и независимыми друг от друга нормативными ГДП. Станции А, Б, В не приспособлены для стоянки поездов унифицированной длины. В таких условиях пропускная способность однопутного участка А—Б—В не может быть использована значительное время суток (в периоды интенсивного пригородного движения), так как негде остановить поезда, подлежащие пропуску по этому участку, и нет возможности синхронизировать подвост поездов с периодами свободности перегонов и элементов станций для их пропуска. При этом повышение пропускной способности участка А—Б—В не позволит увеличить число пропускаемых поездов — этому препятствуют другие элементы инфраструктуры и пространственно-временная конфигурация корреспондирующих поездопотоков.

По указанным причинам допустимое использование НПС участка определяется по формуле

$$n_n^* = n_n - \Delta n_n^* = n_n - \frac{t_n}{T_{пер}} K, \quad (4)$$

где Δn_n^* — потери НПС по причине несинхронности подвода поездов со смежных расчетных участков, пар поездов/сут; t_n — часть суточного бюджета времени,

которую невозможно использовать для движения поездов по рассчитываемому участку по причине несинхронности подвода поездов со смежных расчетных участков, мин; $T_{пер}$ — период ГДП на ограничивающем перегоне (расчетный межпоездный интервал), мин; K — число поездов (пар поездов), которое может быть пропущено по участку за время $T_{пер}$ в зависимости от применяемого типа ГДП.

Многообразие топологий путевого развития и конфигураций поездопотоков затрудняет запись аналитических выражений для расчета значения t_n . Это значение следует определять экспериментально — путем построения насыщенных ГДП или с помощью имитационного моделирования для каждого конкретного случая.

Влияние тактового графика движения поездов в различных видах пассажирского движения на съем НПС. Тактовый график движения поездов — это организованное движение попутно следующих поездов, отправляющихся с начальной станции через одинаковые интервалы времени. Размер такта может не совпадать на расчетном участке с величиной межпоездного интервала, однако не может быть меньше ее.

Тактовый ГДП широко применяется на железных дорогах мира в различных вариациях:

- тактовые поезда и поезда других категорий следуют параллельным графиком;
- тактовые поезда следуют с большей скоростью относительно поездов других категорий;
- тактовые поезда следуют с меньшей скоростью относительно поездов других категорий.

Применение тактового ГДП обусловлено потребностью в повышении качества обслуживания пассажиров.

Основным отличием расчета коэффициента съема в тактовом движении относительно действующей методики [15] является специфика дополнительного съема, который возникает вследствие некратности установленного межпоездного интервала $I_{мп}$ и величины такта S .

Величина $I_{мп}$ обычно задается действующей на перегоне системой сигнализации и связи, при этом применение инновационных систем интервального регулирования позволит индивидуально для каждого поезда рассчитать $I_{мп}$ в зависимости от размера его тормозного пути [19].

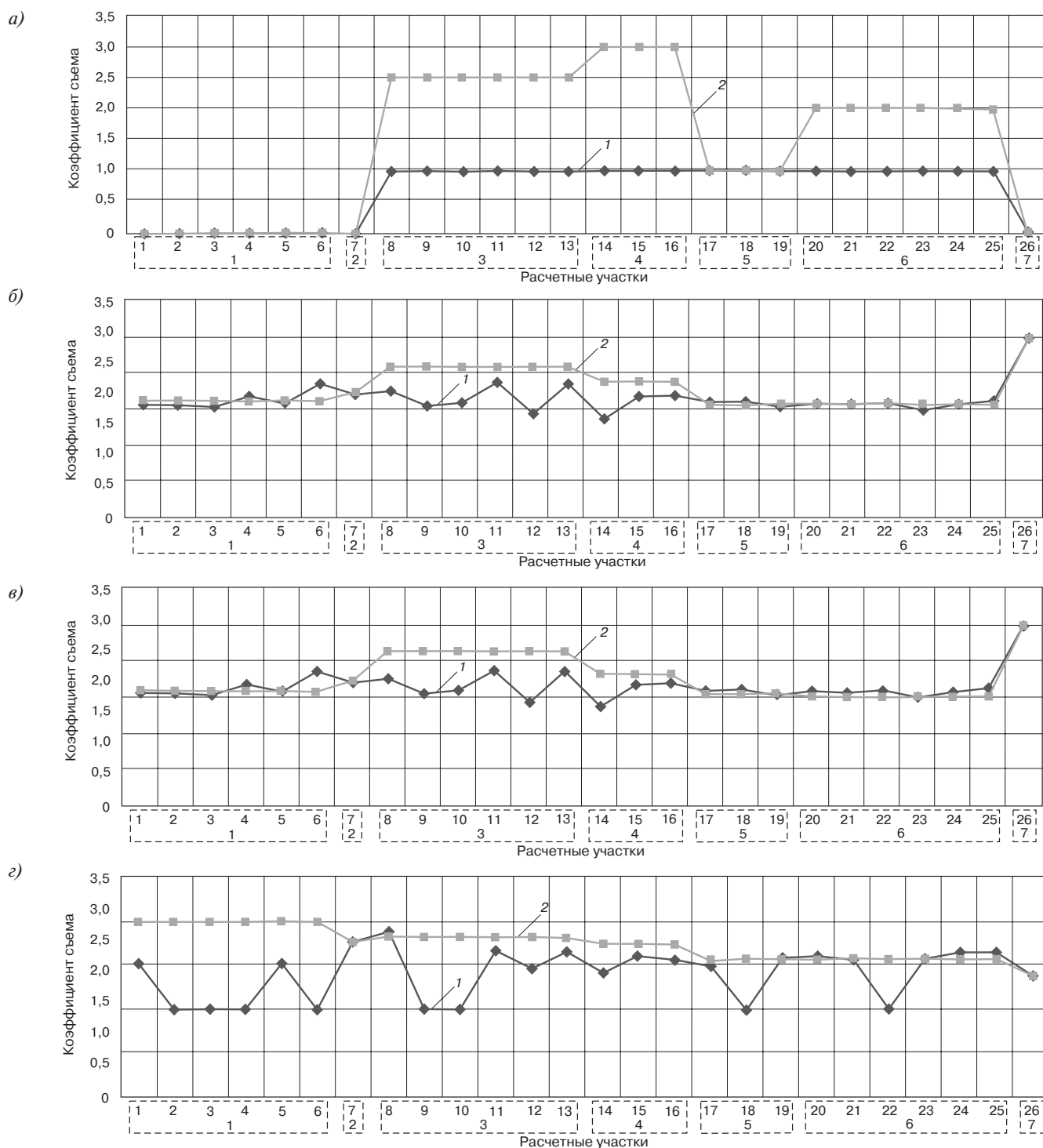


Рис. 2. Сравнение коэффициентов сдвига по двум вариантам топологии расчетных участков (по варианту № 1 — 26 участков, по варианту № 2 — 7 участков): а — для сборных поездов; б — для пассажирских поездов (круглогодичных); в — для пассажирских поездов (сезонного и разового назначения); г — для пригородных поездов; 1 — вариант № 1; 2 — вариант № 2

Fig. 2. Comparison of descheduling coefficients for two topology options of calculated sections (26 sections for option no. 1, 7 sections for option no. 2): а — for mixed trains; б — for passenger trains (year-round); в — for passenger trains (seasonal and one-time use); г — for suburban trains; 1 — option no. 1; 2 — option no. 2

На рис. 4 представлен фрагмент тактового параллельного ГДП. Двойной линией обозначены тактовые поезда, следующие через равные интервалы

времени S . Время внутри S , которое невозможно использовать для движения поездов $\tau_{\text{доп}}^{\text{пр}}$, обозначено штриховкой.

Величина неиспользуемого (потерянного на некротности) времени $\tau_{\text{доп}}^{\text{нг}}$, приходящаяся на каждый интервал времени S , вычисляется по формуле (5), где целая часть числа обозначается символом $\lfloor \cdot \rfloor$ с округлением до ближайшего целого в меньшую сторону:

$$\tau_{\text{доп}}^{\text{нг}} = S - I_{\text{мп}} \left\lfloor \frac{S}{I_{\text{мп}}} \right\rfloor, \text{ мин.} \quad (5)$$

Для вычисления общего количества времени, потерянного из-за некротности величины такта и межпоездного интервала, необходимо определить количество циклов тактового движения P . Рассчитать P можно исходя из величины периода обращения тактовых поездов на участке или размеров их движения n (пар поездов/сут):

$$P = \lfloor B / S \rfloor = n - 1, \text{ цикл,} \quad (6)$$

где B — длительность периода обращения на участке тактовых поездов в течение суток, мин.

Общее время, потерянное из-за некротности величины такта и межпоездного интервала за период B , вычисляется по формуле

$$\tau_{\text{доп}}^{\text{нг}} = \left(S - I_{\text{мп}} \left\lfloor \frac{S}{I_{\text{мп}}} \right\rfloor \right) P, \text{ мин.} \quad (7)$$

Тогда при параллельном ГДП величина коэффициента дополнительного съема, возникающего вследствие некротности межпоездного интервала и величины такта, будет равна

$$\varepsilon_{\text{доп}}^{\text{нг}} = \frac{\tau_{\text{доп}}^{\text{нг}}}{I_{\text{мп}}}. \quad (8)$$

На основе зависимостей, определенных выше, проведен расчет коэффициента дополнительного съема для параллельного ГДП при различных значениях $I_{\text{мп}}$ и S . На рис. 5 представлен график значений коэффициента дополнительного съема при параллельном тактовом ГДП для диапазона значений S от 20 до 30 мин и $I_{\text{мп}}$ — от 5 до 10 мин.

Анализ графика позволяет сделать вывод, что при тактовом параллельном ГДП с уменьшением величины межпоездного интервала коэффициент дополнительного съема имеет более низкие пиковые значения.

Представляется логичным произвести также расчет коэффициента съема для тактового непараллельного ГДП (рис. 6). Двойной линией обозначены тактовые поезда, следующие через равные интервалы времени S . Время внутри S , которое отводится на станционный интервал отправления $\tau_{\text{от}}$ с раздельного пункта Б и станционный интервал прибытия $\tau_{\text{пр}}$ на раздельный пункт А, обозначено на рисунке левой и правой косои штриховкой. Интервал времени, который невозможно использовать для движения поездов $\tau_{\text{доп}}^{\text{нг}}$, обозначен двойной штриховкой.

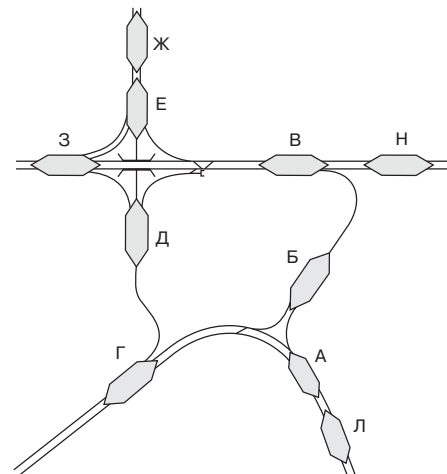


Рис. 3. Схема фрагмента железнодорожной сети:
А, Б...Л — станции
Fig. 3. Section scheme of the railway network:
А, Б...Л — stations

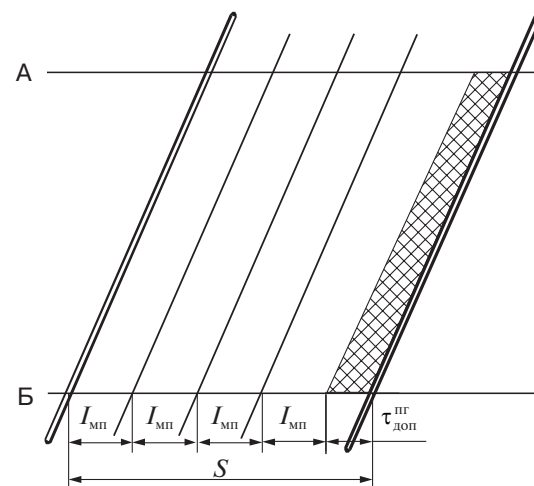


Рис. 4. Фрагмент тактового параллельного ГДП:
 $I_{\text{мп}}$ — межпоездный интервал, мин; $\tau_{\text{доп}}^{\text{нг}}$ — величина неиспользуемого (потерянного на некротности) времени, приходящаяся на каждый интервал S , при параллельном графике, мин; S — величина такта (интервал времени между двумя попутно следующими тактовыми поездами), мин; А, Б — раздельные пункты

Fig. 4. Fragment of a clock parallel train schedule:
 $I_{\text{мп}}$ — inter-train interval, min; $\tau_{\text{доп}}^{\text{нг}}$ — amount of unused (lost due to non-multiple) time, accounts for each interval S , with a parallel schedule, min; S — value of the cycle (time interval between two following cycle trains), min; А, Б — separate points. Double line denotes clock trains running at regular intervals S

Величина коэффициента основного съема определяется отношением суммы времени хода тихоходного поезда $t_{\text{тих}}$, станционным интервалом отправления $\tau_{\text{от}}$ и станционным интервалом прибытия $\tau_{\text{пр}}$ [20] к сумме времени хода тактового поезда $t_{\text{такт}}$ и двух межпоездных интервалов, прилегающих к нитке тактового поезда:

$$\varepsilon_{\text{осн}}^{\text{нг}} = \frac{\tau_{\text{от}} + t_{\text{тих}} + \tau_{\text{пр}}}{I_{\text{мп}} + t_{\text{такт}} + I_{\text{мп}}}. \quad (9)$$

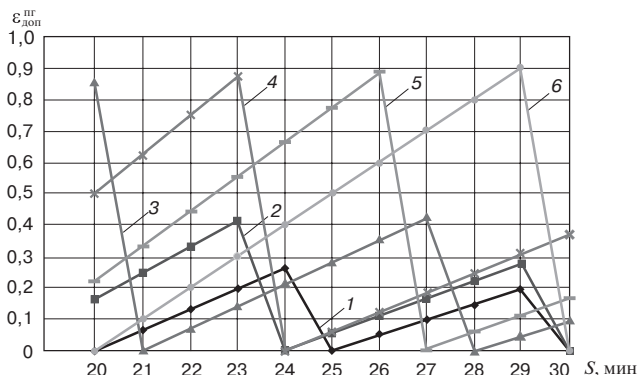


Рис. 5. График значений коэффициента дополнительного сдвига при параллельном тактовом ГДП $\varepsilon_{\text{доп}}^{\text{нп}}$ в зависимости от величины такта S и межпоездного интервала $I_{\text{мп}}$:

1 — при $I_{\text{мп}}=5$; 2 — при $I_{\text{мп}}=6$; 3 — при $I_{\text{мп}}=7$;
4 — при $I_{\text{мп}}=8$; 5 — при $I_{\text{мп}}=9$; 6 — при $I_{\text{мп}}=10$

Fig. 5. Schedule of the values of additional descheduling coefficient with parallel clock train schedule $\varepsilon_{\text{доп}}^{\text{нп}}$ depending on the value of the clock value S and the inter-train interval $I_{\text{мп}}$:

1 — at $I_{\text{мп}}=5$; 2 — at $I_{\text{мп}}=6$; 3 — at $I_{\text{мп}}=7$;
4 — at $I_{\text{мп}}=8$; 5 — at $I_{\text{мп}}=9$; 6 — at $I_{\text{мп}}=10$

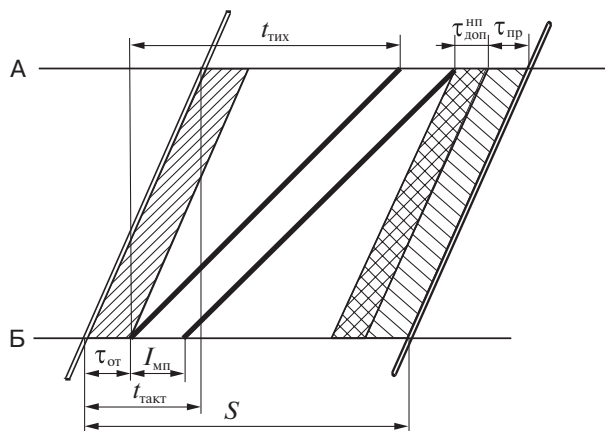


Рис. 6. Фрагмент тактового непараллельного ГДП:

$t_{\text{тих}}$ — время хода тихоходного поезда, мин; $t_{\text{такт}}$ — время хода тактового поезда, мин; $\tau_{\text{доп}}^{\text{нп}}$ — величина неиспользуемого (потерянного на некратности) времени, приходящаяся на каждый интервал S , при непараллельном графике, мин; $\tau_{\text{от}}$ — станционный интервал отправления, мин; $\tau_{\text{пр}}$ — станционный интервал прибытия, мин

Fig. 6. Fragment of a clock non-parallel train schedule:

$t_{\text{тих}}$ — running time of a slow-moving train, min; $t_{\text{такт}}$ — running time of the clock train, min; $\tau_{\text{доп}}^{\text{нп}}$ — amount of unused (lost due to non-multiples) time, accounting for each interval S , with a non-parallel schedule, min; $\tau_{\text{от}}$ — station departure interval, min; $\tau_{\text{пр}}$ — station arrival interval, min

Величина коэффициента дополнительного сдвига при непараллельном ГДП рассчитывается по формуле

$$\varepsilon_{\text{доп}}^{\text{нп}} = \frac{\tau_{\text{доп}}^{\text{нп}}}{I_{\text{мп}}}, \quad (10)$$

где

$$\tau_{\text{доп}}^{\text{нп}} = S - \tau_{\text{от}} - \tau_{\text{пр}} - (t_{\text{тих}} - t_{\text{такт}}) - xI_{\text{мп}}, \text{ мин}, \quad (11)$$

где x — это количество межпоездных интервалов между пропускаемыми тихоходными поездами внутри интервала времени S . Поэтому количество тихоходных поездов $n_{\text{тих}}$ в течение такта S будет равно

$$n_{\text{тих}} = x + 1, \text{ пар поездов/сут}; \quad (12)$$

$$x = \left\lfloor \frac{S - \tau_{\text{от}} - \tau_{\text{пр}} - (t_{\text{тих}} - t_{\text{такт}})}{I_{\text{мп}}} \right\rfloor. \quad (13)$$

Общая (суточная) НПС для участка с тактовым движением определяется с учетом всех видов движения как при параллельном, так и при непараллельном ГДП и вычисляется по формуле

$$n_{\text{н}} = \frac{Da - \tau_{\text{доп}}^{\text{нп}}}{I_{\text{мп}}} + \frac{Db}{I_{\text{мп}}}, \text{ пар поездов/сут}; \quad (14)$$

$$a + b = 1, \quad (15)$$

где D — суточный бюджет времени на движение всех типов поездов с учетом коэффициента надежности, мин; a — доля времени занятия участка тактовым движением; b — доля времени занятия участка остальными видами движения.

Произвести расчет количества времени занятия участка тактовым движением B можно исходя из заданных параметров движения тактовых поездов, определенных на основе потребностей в перевозках (размеры движения тактовых поездов и тактовый интервал):

$$B = Sn = Da, \text{ мин}. \quad (16)$$

НПС для участка с тактовым движением в интенсивный час будет определяться в пригородных поездах [15]. Наибольшее число пригородных поездов за этот час с учетом сдвига тактовыми поездами рассчитывается по формуле

$$n_{\text{н}}^{\text{ч}} = \frac{60\alpha_{\text{н}}}{I_{\text{мп}}} - (\varepsilon_{\text{осн}}^{\text{нп}} + \varepsilon_{\text{доп}}^{\text{нп}})n_{\text{такт}}, \quad (17)$$

где $n_{\text{такт}}$ — число пропускаемых по пригородной зоне тактовых поездов, поездов/сут; $\alpha_{\text{н}}$ — коэффициент надежности инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования и подвижного состава [1].

Выводы. В статье рассмотрены особые условия эксплуатации железнодорожных линий, не отраженные в нормативно-методических документах и научно-технической литературе. Разветвленность топологии сети и маршрутов движения поездопотоков, взаимное расположение поездов в ГДП влияют на величину дополнительного сдвига пропускной способности. Установлено, что в зависимости от принятого к рассмотрению расчетного участка изменяется значение коэффициента сдвига пассажирских поездов от 0,15 до 0,26, что в комплексе с другими факторами приводит к снижению

результатирующей пропускной способности направления до 5 пар поездов в сутки, или до 7 %.

При расчете пропускной способности непараллельного ГДП и участков с интенсивным пригородным движением следует учитывать необходимость обеспечения непрерывности следования поездов разных категорий между станциями технологических стоянок (в том числе и станций оборота пригородных поездов), а также кратность периода ГДП и тактового интервала.

Расчет коэффициента дополнительного съема для поездов тактового графика показал колебания его значений в зависимости от величины такта и межпоездного интервала в диапазоне от 0 до 0,9.

Для расчета технически достижимого уровня заполнения пропускной способности необходимо учитывать несинхронность подвода поездов со смежных расчетных участков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог: утв. ОАО «РЖД» от 10.11.2010 г. № 128. М.: Техинформ, 2011. 289 с.
2. Технический железнодорожный словарь / под ред. Н. Н. Васильева [и др.]. М.: Трансжелдориздат, 1941. 998 с.
3. Щегловитов В. Н. Теория графика движения поездов в связи с вопросом о составах. Ч. 1: Основные свойства коммерческого графика. Варшава: Типография А. Г. Сыркина, 1909. 422 с.
4. Разина Е. А. Начало теории графика движения поездов // Б. П. Бешев: выдающийся выпускник, великий железнодорожник. К 115-летию со дня рождения: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 28–29 нояб. 2018 г.) / под ред. А. Г. Котенко. СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2019. С. 84–89.
5. Котенко А. Г., Васильев Е. Ю. Изменение подхода к составлению графиков движения поездов на железных дорогах СССР в середине 30-х годов // Б. П. Бешев: выдающийся выпускник, великий железнодорожник. К 115-летию со дня рождения: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 28–29 нояб. 2018 г.) / под ред. А. Г. Котенко. СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2019. С. 33–36.
6. Гранквист В. В. Организация движения поездов по графику. Л., 1941. 224 с.
7. Петров А. П. Исследование двухпутного графика в связи с прокладкой пассажирских поездов / под общ. ред. акад. А. Н. Разцова и Б. Э. Пейсахзона. М.: Трансжелдориздат, 1941. 112 с.
8. Васильев И. И. Графики и расчеты по организации железнодорожных перевозок. М.: Трансжелдориздат, 1941. 575 с.
9. Расчет пропускной способности железных дорог / Е. В. Архангельский [и др.]. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Транспорт, 1977. 310 с.

10. Воробьев Н. А., Каретников А. Д. График движения поездов. М.: Транспорт, 1979. 301 с.

11. Зубков И. И., Угрюмов А. К., Романов А. П. Организация движения на железнодорожном транспорте. М.: Транспорт, 1981. 232 с.

12. Чернюгов А. Д. Новое в расчете пропускной способности железных дорог // Вестник ВНИИЖТ. 1980. № 1. С. 6–10.

13. Чернюгов А. Д., Дербенева В. И. График движения поездов на пригородных участках. М.: Транспорт, 1971. 120 с.

14. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог. М.: Транспорт, 1991. 304 с.

15. Методика определения пропускной и провозной способностей инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования [Электронный ресурс]: утв. приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 18.07.2018 г. № 266 (зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации от 09.08.2018 г. № 51837) // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации / АО «Кодекс». URL: <http://docs.cntd.ru/document/542629643> (дата обращения: 20.11.2019 г.).

16. Левин Д. Ю., Павлов В. Л. Расчет и использование пропускной способности железных дорог: монография. М.: ФГОУ «Учебно-метод. центр по образованию на ж.-д. транспорте», 2011. 364 с.

17. Технология функционирования автоматизированной системы «Паспорт наличной пропускной способности железных дорог ОАО «РЖД»: утв. ОАО «РЖД» от 14.04.2016 г. № 658р. 53 с.

18. Фёдоров Ю. Н., Бородин А. Ф. Разработка научно обоснованных рекомендаций по развитию пропускной способности и управлению эксплуатацией железнодорожных линий // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2015. № 4. С. 31–40.

19. Гибридная система интервального регулирования движения поездов для Московского центрального кольца / Е. Е. Шухина [и др.] // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2018): тр. Седьмой науч.-техн. конф. (Москва, 14 нояб. 2018 г.). М.: АО НИИАС, 2018. С. 31–35.

20. Инструкция по определению станционных и межпоездных интервалов с учетом новых средств и методов интервального регулирования движения поездов: утв. приказом ОАО «РЖД» от 09.12.2016 г. № 721. М.: ОАО «РЖД», 2016.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

КИРИЛЛОВА Светлана Юрьевна,
ведущий инженер, АО «ИЭРТ»

НИКОЛАЕВ Константин Юрьевич,
инженер I категории, АО «ИЭРТ»

Статья поступила в редакцию 02.12.2019 г., актуализирована 04.07.2020 г., принята к публикации 20.07.2020 г.

Для цитирования: Кириллова С. Ю., Николаев К. Ю. К определению коэффициентов съема пропускной способности участков железных дорог // Вестник ВНИИЖТ. 2020. Т. 79. № 4. С. 230–238. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-4-230-238>.

To the determination of the capacity descheduling coefficients of railway sections

S. Yu. KIRILLOVA, K. Yu. NIKOLAEV

Joint Stock Company "Institut of Economics and Development of Transport" (JSC "IEDT"), Moscow, 105066, Russia

Abstract. The article investigates factors arising from the use of new technologies for organizing train operation, features of the

topology of the railway network and affecting the calculation and use of the available capacity of railway sections. Based on the result

generalization of such actions as mass analytical calculations in the automated development of data sheets for the available capacity of the Russian Railways network, analysis of standard train schedules and building of experimental traffic schedules, it has been established that when calculating the capacity of sections with an unparallelled train schedule and sections with an intensive suburban and suburban-urban traffic one should take into account the need to ensure the continuity of trains of different categories between service stops, the mutual arrangement of trains in the clock schedule and on adjacent sections. Authors carried out an evaluation of the influence of various topology options of calculated sections on its capacity. Recommendations are given for changing the criteria for dividing railway lines into calculated sections: separately for calculating the capacity and separately for calculating the capacity descheduling coefficients. The influence of adjacent infrastructure elements on the loss of available capacity is considered when it is impossible to synchronize approaching trains with periods of free runs and station elements for its passage; recommendations are formulated for its calculation experimentally — by building intensive train schedules or simulation modelling. The calculation formulas have been developed for the train descheduling coefficients when using the clock schedule in various types of passenger traffic and the impact of the considered types of traffic on the schedule exception of the available capacity have been assessed. The research results are intended for use in regulatory and methodological documents and automated systems for calculating, analyzing the use and justifying the development of throughput and carrying capacity of railways.

Keywords: train schedule; capacity; descheduling coefficient; additional descheduling coefficient; train descheduling; data sheet; calculated sections; train flows; network topology; suburban traffic; suburban-urban traffic; clock schedule; inter-train interval

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-4-230-238>

REFERENCES

1. *Instructions for calculating available capacity of railways*. Approved by the JSC "Russian Railways" dated November 10, 2010 No. 128. Moscow, Tekhinform Publ., 2011, 289 p. (in Russ.).
2. Vasil'ev N. N., Isaakyan O. N., Roginskiy N. O. *Technical railway dictionary*. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1941, 998 p.
3. Shcheglovitov V. N. *Theory of the train schedule in connection with the question of trains. Part 1: The main properties of a commercial schedule*. Warsaw, A.G. Syrkin's Publishing House, 1909, 422 p.
4. Razina E. A., Kotenko A. G. *The beginning of the theory of the train schedule*. B. P. Beshchev: an outstanding graduate, a great railroad worker. To the 115th anniversary of his birth: materials of Inter. scientific-practical conf. (St. Petersburg, November 28–29, 2018). St. Petersburg, FGBOU VO PGUPS Publ., 2019, pp. 84–89.
5. Kotenko A. G., Vasil'ev E. Yu. *Changing the approach to scheduling trains on the railways of the USSR in the mid-30s*. B. P. Beshchev: an outstanding graduate, a great railway worker. To the 115th anniversary of his birth: materials of Inter. scientific-practical conf. (St. Petersburg, November 28–29, 2018). St. Petersburg, FGBOU VO PGUPS Publ., 2019, pp. 33–36.
6. Grankvist V. V. *Organization of train traffic according to the schedule*. St. Petersburg, 1941, 224 p.
7. Petrov A. P., Obratsov A. N., Peysakhzon B. E. *Study of a double-track schedule in connection with the laying of passenger trains*. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1941, 112 p.
8. Vasil'ev I. I. *Schedules and calculations for the organization of railway transportation*. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1941, 575 p.

■ E-mail: constantsurety@gmail.com (K. Yu. Nikolaev)

9. Arkhangel'skiy E. V., Vorob'ev N. A., Drozdov N. A. *Calculation of the capacity of railways*. 2nd edition, revised and amended. Moscow, Transport Publ., 1977, 310 p.

10. Vorob'ev N. A., Karetnikov A. D. *Grafik dvizheniya poezdov* [Train traffic schedule]. Moscow, Transport Publ., 1979, 301 p.

11. Zubkov I. I., Ugryumov A. K., Romanov A. P. *Organizatsiya dvizheniya na zheleznodorozhnom transporte* [Organization of traffic on railway transport]. Moscow, Transport Publ., 1981, 232 p.

12. Chernyugov A. D. *New in the calculation of the railway capacity*. Vestnik of the Railway Research Institute, 1980, no. 1, pp. 6–10.

13. Chernyugov A. D., Derbeneva V. I. *Grafik dvizheniya poezdov na prigorodnykh uchastkakh* [Schedule of trains on suburban areas]. Moscow, Transport Publ., 1971, 120 p.

14. *Instructions for calculating the available capacity of railways*. Moscow, Transport Publ., 1991, 304 p. (in Russ.).

15. *Methods for determining the throughput and carrying capacity of the infrastructure of public railway transport*. Approved by order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated July 18, 2018 No. 266 (registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation dated August 09, 2018 No. 51837). URL: <http://docs.cntd.ru/document/542629643> (retrieved on 20.11.2019) (in Russ.).

16. Levin D. Yu., Pavlov V. L. *Raschet i ispol'zovanie propusknoy sposobnosti zheleznnykh dorog: monografiya* [Calculation and use of the capacity of railways: monograph]. Moscow, FGOU "Uchebno-metod. tsentr po obrazovaniyu na zh.-d. transporte" [FGOU "Teaching method. center for education on the railway transport"] Publ., 2011, 364 p.

17. *Technology of functioning of the automated system "Data sheet of the available capacity of the Russian Railways"*. Approved by the JSC "Russian Railways" dated April 14, 2016 No. 658r, 53 p. (in Russ.).

18. Fedorov Yu. N., Borodin A. F. *Razrabotka nauchno obosnovannykh rekomendatsiy po razvitiyu propusknoy sposobnosti i upravleniyu ekspluatatsiy zheleznodorozhnykh liniy* [Development of scientifically based recommendations for the development of capacity and management of the operation of railway lines]. Byulleten' Ob"edinennogo uchenogo soveta OAO "RZhD" [Bulletin of the Joint Scientific Council of the JSC "Russian Railways"], 2015, no. 4, pp. 31–40.

19. Shukhina E. E., Astrakhan V. I., Panferov I. A., Kisel'gov G. K. *Hybrid system of interval regulation of train traffic for the Moscow Central Circle*. Intelligent control systems in railway transport. Computer and mathematical modeling (ISUZhT-2018). Proc. of the Seventh scientific and technical conf. (Moscow, November 14, 2018). Moscow, AO NIIAS Publ., 2018, pp. 31–35.

20. *Instructions for determining station and inter-train intervals, taking into account new means and methods of interval regulation of train traffic*. Approved by order of the JSC "Russian Railways" dated December 9, 2016 No. 721. Moscow, JSC "Russian Railways" Publ., 2016 (in Russ.).

ABOUT THE AUTHORS

Svetlana Yu. KIRILLOVA,
Leading Engineer, JSC "IEDT"

Konstantin Yu. NIKOLAEV,
1st Category Engineer, JSC "IEDT"

Received 02.12.2019

Revised 04.07.2020

Accepted 20.07.2020

For citation: Kirillova S. Yu., Nikolaev K. Yu. To the determination of the capacity descheduling coefficients of railway sections // VNIIZhT Scientific Journal. 2020. 79 (4): 230–238 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-4-230-238>.