

## Исследование сфер эффективности применения технологии пропуска соединенных и тяжеловесных поездов

В статье представлены результаты исследования сфер технологической эффективности применения технологии пропуска соединенных и тяжеловесных поездов по перегонам условного железнодорожного полигона. Установлено, что такая технология должна применяться только в условиях превышения нормативных значений коэффициента заполнения пропускной способности перегонов. В противном случае целесообразно применять технологию формирования и пропуска грузовых поездов графической массы и длины.

Для установления технологической эффективности предлагается вести расчет таких показателей, как наличная пропускная и провозная способности полигона. Переменными исходными данными являются отношения масс обычного и соединенного (тяжеловесного) поездов и отношение интервалов между соединенным (тяжеловесным) грузовым поездом и поездом графической массы и длины. За критерий оптимальности принято условие: при возрастании доли соединенных поездов в потоке грузовых провозная способность линии должна расти (при фиксированном сочетании интервалов между соединенным и обычным поездами и сочетании масс поездов). Результаты расчетов представлены в виде номограмм зависимости провозной способности участка от соотношения интервалов между грузовым поездом графической массы и длины и соединенным (тяжеловесным) для различных значений доли соединенных (тяжеловесных) поездов в потоке грузовых. Номограммы позволяют определять точки равновесия, т. е. такое соотношение интервалов между грузовым поездом графической массы и длины и соединенным (тяжеловесным), выше значения которого пропуск соединенных (тяжеловесных) поездов технологически нецелесообразен.

Кроме того, в исследовании установлено влияние пассажирского движения на технологическую эффективность применения технологии пропуска соединенных (тяжеловесных) поездов. Применение представленной методики позволит оценить целесообразность освоения возрастающих объемов перевозок, в том числе в условиях обращения скоростных и высокоскоростных пассажирских поездов и в период предоставления технологических «окон» различной продолжительности за счет применения технологии пропуска соединенных и тяжеловесных грузовых поездов.

**Ключевые слова:** *оценка технологической эффективности, соединенные поезда, тяжеловесные поезда, пропускная способность перегонов, провозная способность.*

На современном этапе развития железнодорожного транспорта достаточно остро встает вопрос оптимального использования существующей пропускной способности участков и полигонов железных дорог [1, 2]. При этом расчетный коэффициент заполнения пропускной способности некоторых лимитирующих перегонов превышает допустимое значение. Для электрифицированных двухпутных перегонов, оборудованных автоблокировкой, основным способом усиления пропускной способности является строительство дополнительного главного пути, что является капиталоемким мероприятием. Альтернативу этому может составить применение технологии формирования и пропуска соединенных и тяжеловесных грузовых поездов [3, 4]. В этом случае основными особенностями работы данного полигона будут следующие [5–7]:

1) для минимизации негативного влияния процесса формирования и расформирования соединенных поездов на пропускную способность начальной и конечной станций, а также приле-

гающих перегонов данный процесс лучше организовать с использованием станционных путей и парков, т. е. без занятия перегонов;

2) при необходимости смены локомотивных бригад и локомотивов без изменения вида тяги на станциях полигона обращения соединенных поездов данный процесс следует организовывать с использованием станционных путей;

3) в случае изменения рода тока или вида тяги для смены локомотива соединенного поезда, расположенного в середине этого поезда, необходимо предусмотреть укладку съездов, т. е. специализированное путевое развитие [8];

4) в случае формирования тяжеловесных поездов в пределах графической длины состава более эффективно используется полезная длина приемо-отправочных путей, а также мощность поездных локомотивов;

5) интервал между поездами на перегоне (в пакете) для сочетания «соединенный (тяжеловесный) – обычный» или «обычный – соединенный (тяжеловесный)» грузовой поезд

будет выше, чем для пары «обычный – обычный»;

6) число формируемых и пропускаемых по полигону соединенных и тяжеловесных грузовых поездов, как правило, ограничено пропускной способностью системы электроснабжения;

7) применение технологии формирования и пропуска соединенных и тяжеловесных грузовых поездов требует безостановочного пропуска их по участку, вследствие чего повышается вероятность доставки грузов в срок.

В работе представлены результаты исследования технологической эффективности применения технологии формирования и пропуска соединенных и тяжеловесных грузовых поездов в разрезе натурального показателя «провозная способность железнодорожного участка». При этом рассматривается только процесс пропуска данных поездов по участку и не учитываются отличительные особенности и затраты на их формирование и расформирование на станциях полигона.

Необходимо уточнить, что технология формирования и пропуска соединенных или тяжеловесных поездов должна применяться на участках и полигонах железных дорог, для которых коэффициент заполнения пропускной способности близок к допустимому значению или превысил его. В противном случае наиболее целесообразно формировать и пропускать поезда графической массы и длины.

В качестве объекта исследования принят двухпутный условный железнодорожный участок, максимально приближенный к реальному, со следующими основными исходными параметрами: оборудован автоблокировкой, организован пропуск только грузовых поездов, интервал между поездами – 8 мин, масса поезда – 6 000 т.

В условиях применения технологии формирования и пропуска соединенных (тяжеловесных) поездов их масса принимается 10 500, 12 000, 13 500 т, число поездов изменяется от нуля до половины наличной пропускной способности участка в случае применения технологии пропуска грузовых поездов только графической массы и длины.

Анализ результатов расчетов пропускной способности и тяговых расчетов для Транссибирской магистрали Западно-Сибирской же-

лезной дороги – полигона обращения соединенных и тяжеловесных поездов показал, что коэффициент заполнения пропускной способности в месяц максимальных перевозок приближен к допустимому значению (для двухпутных участков – 0,99), а времена хода обычных и соединенных (тяжеловесных) грузовых поездов одинаковы.

В связи с данными особенностями в исследовании принято, что коэффициент заполнения пропускной способности условного полигона в условиях пропуска только обычных грузовых поездов равен допустимому значению, а время хода обычного и соединенного (тяжеловесного) грузовых поездов равнозначное.

Расчеты технологической эффективности формирования и пропуска соединенных поездов произведены для следующих сочетаний:

1) отношение масс обычного и соединенного (тяжеловесного) поездов – 1,0 (т. е. применяется технология формирования и пропуска грузовых поездов только графической массы и длины); 1,75; 2; 2,25;

2) отношение интервалов между соединенным (тяжеловесным) грузовым поездом и поездом графической массы и длины – 1,25; 1,5; 1,75; 2; 2,25; 2,5.

Для определения технологической эффективности применения технологии формирования и пропуска соединенных (тяжеловесных) грузовых поездов рассчитывается несколько показателей.

1. Провозная способность участка, млн т бр. в год [9]:

$$П = \frac{365 Q_{бр.сп} N_{нал}}{10^6}, \quad (1)$$

где  $Q_{бр.сп}$  – средняя масса поезда, приходящаяся на одну нитку графика движения поездов, т бр.;  $N_{нал}$  – наличная пропускная способность участка (полигона), ниток грузовых поездов.

2. Средняя масса поезда, приходящаяся на одну нитку графика движения поездов, т бр.:

$$Q_{бр.сп} = \frac{N_{с/т} m_{с/т} + (N_{нал.0} - N_{с/т}) m_{гр}}{N_{нал.0}} = \alpha_{с/т} m_{с/т} + (1 - \alpha_{с/т}) m_{гр}, \quad (2)$$

где  $N_{с/т}$  – число соединенных (тяжеловесных) поездов в общем потоке грузовых, поездов;  $m_{с/т}$  – масса соединенного (тяжеловесного) поезда, т бр.;  $N_{нал.0}$  – наличная пропускная спо-

способность участка в случае применения технологии формирования и пропуска грузовых поездов только графиковой массы и длины, ниток грузовых поездов;  $m_{гр}$  – масса поезда графиковой массы и длины, т бр.;  $\alpha_{с/т}$  – доля соединенных (тяжеловесных) поездов в потоке грузовых:

$$\alpha_{с/т} = \frac{N_{с/т}}{N_{нал.0}}. \quad (3)$$

3. Наличная пропускная способность двухпутных перегонов, ниток грузовых поездов [10]:

$$N_{нал} = \frac{1440 - t_{техн}}{I_p} \alpha_n \rho_{доп}, \quad (4)$$

где  $t_{техн}$  – время, выделяемое на технологическое «окно», мин;  $I_p$  – расчетный интервал между грузовыми поездами, мин;  $\alpha_n$  – коэффициент надежности работы технических средств;  $\rho_{с/т}$  – допустимый коэффициент заполнения пропускной способности участка [10].

4. Расчетный интервал между грузовыми поездами  $I_p$ , мин, определяется из условия обращения на полигоне поездов графиковой массы и длины, а также соединенных (тяжеловесных) по формуле [5, 6]:

$$I_p = \frac{I'_p(N_{нал.0} - 2N_{с/т}) + (I_{гр-с/т} + I_{с/т-гр})N_{с/т}}{N_{нал.0}} = I'_p(1 - 2\alpha_{с/т}) + (I_{гр-с/т} + I_{с/т-гр})\alpha_{с/т}, \quad (5)$$

где  $I'_p$  – расчетный интервал между двумя поездами графиковой массы и длины, определяемый в соответствии с [11], мин;  $I_{гр-с/т}$  – расчетный интервал попутного отправления соединенного (тяжеловесного) поезда за поездом графиковой массы и длины, мин;  $I_{с/т-гр}$  – расчетный интервал попутного отправления поезда графиковой массы и длины за соединенным (тяжеловесным) поездом, мин. При этом, как правило,  $I_{гр-с/т} = I_{с/т-гр}$ .

Применение технологии формирования и пропуска соединенных грузовых поездов признается технологически эффективным, если при возрастании доли соединенных поездов в потоке грузовых растет провозная способность линии (при фиксированном сочетании интервалов между соединенным и обычным поездами и сочетании масс поездов).

Результаты расчетов представлены в виде номограмм зависимости провозной способности участка от соотношения интервалов между грузовым поездом графиковой массы и длины и соединенным (тяжеловесным) для доли соединенных (тяжеловесных) поездов в потоке грузовых от 0 до 0,5 с шагом 0,1 (рис. 1–3).

В соответствии с номограммами определена *точка равновесия* – это такое соотношение интервалов между грузовым поездом графиковой массы и длины и соединенным (тя-

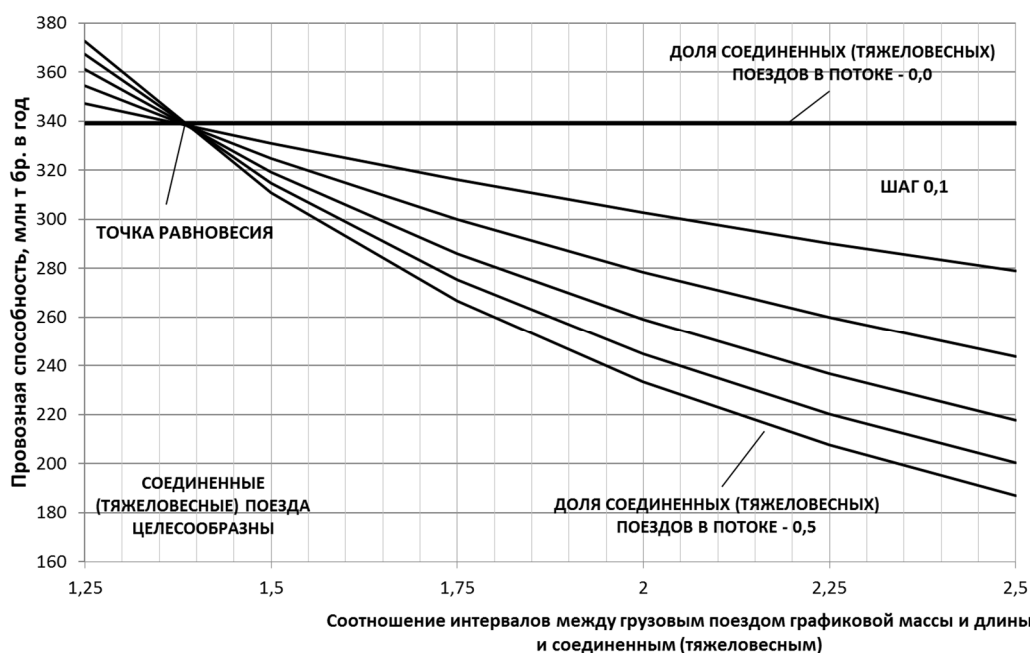


Рис. 1. Номограмма зависимости провозной способности участка от соотношения интервалов между поездами (соотношение масс поездов – 1,75)

желовесным), выше значения которого формирование соединенных (тяжеловесных) поездов технологически нецелесообразно.

Так, для соотношения масс поездов, равного 2, отношение интервалов должно быть не выше 1,5 или не более 12 мин. То есть соотношение интервалов между поездами «обычный – соединенный (тяжеловесный)» зависит от соотношения их масс, и наоборот.

Для остальных сочетаний масс поездов необходимо сделать математические преобразования с подстановкой переменных по следующей принципиальной формуле:

$$P_0 = P_{c/t_2} \quad (6)$$

где  $P_0$  – провозная способность участка в случае применения технологии пропуска только грузовых поездов графической массы и длины, т. е.  $\alpha_{c/t} = 0$ , млн т бр. в год;  $P_{c/t}$  – провозная

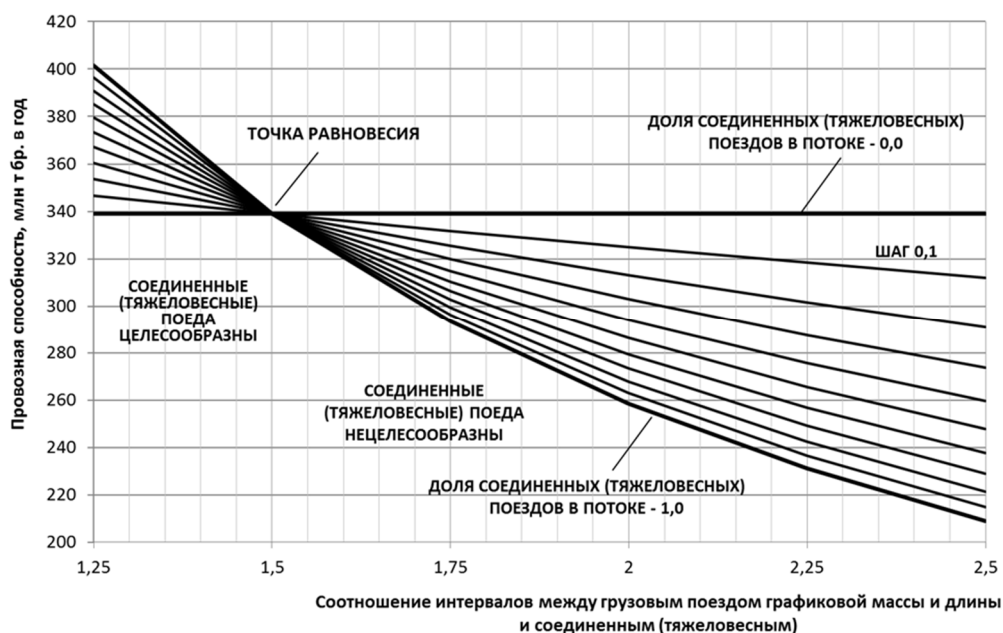


Рис. 2. Номограмма зависимости провозной способности участка от соотношения интервалов между поездами (соотношение масс поездов – 2)

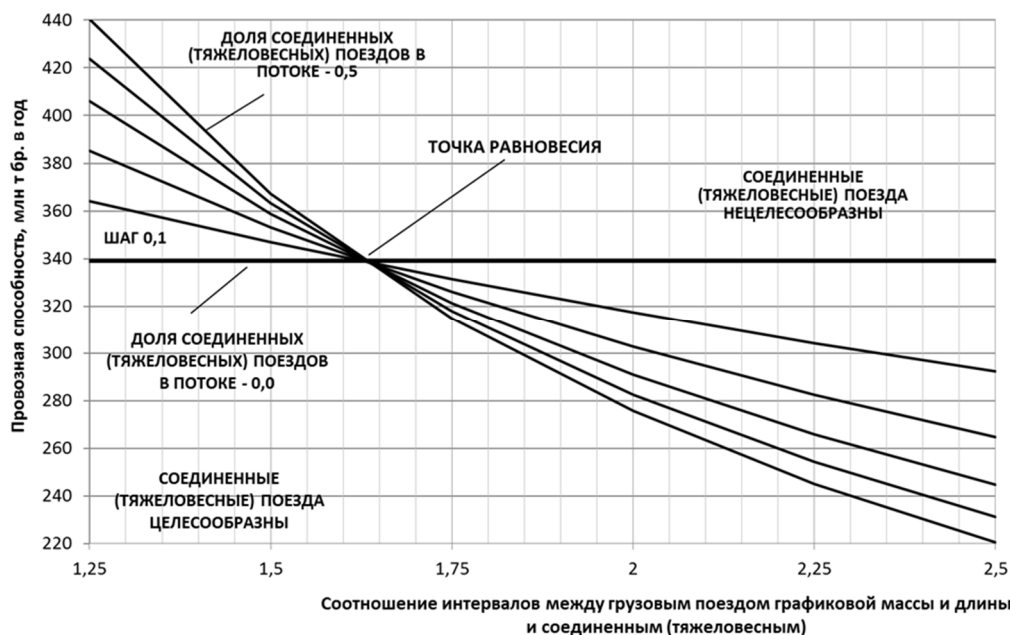


Рис. 3. Номограмма зависимости провозной способности участка от соотношения интервалов между поездами (соотношение масс поездов – 2,25)

способность участка в случае применения технологии пропуска соединенных (тяжеловесных) грузовых поездов, млн т бр. в год.

В результате математических преобразований получены следующие формулы, устанавливающие зависимость между массами поездов и поездными интервалами:

$$\frac{m_{с/т}}{m_{гр}} = 2 \frac{I_{гр-с/т}}{I'_р} - 1 \text{ или } \beta_{мас} = 2\beta_{инт} - 1; \quad (7)$$

$$\frac{I_{гр-с/т}}{I'_р} = 0,5 \frac{m_{с/т}}{m_{гр}} + 1 \text{ или } \beta_{инт} = \frac{\beta_{мас} + 1}{2}; \quad (8)$$

где  $\beta_{мас}$  – соотношение массы грузовых поездов соединенного (тяжеловесного) к обычному;  $\beta_{инт}$  – соотношение интервалов между поездами «соединенный (тяжеловесный) – обычный» к «обычный – обычный».

Для соотношения масс поездов 1,75 и 2,25 отношение интервалов должно быть не выше 1,625 и 1,375 или не выше 13 и 11 мин.

Таким образом, для участка железной дороги:

- в зависимости от заданного соотношения масс поездов может быть установлено максимальное значение соотношения интервалов между поездами и, как следствие, максимальный интервал между поездами «обычный – соединенный (тяжеловесный)», при котором достигается технологический эффект от применения технологии формирования и пропуска соединенных (тяжеловесных) грузовых поездов;

- в зависимости от фактического соотношения интервалов между поездами «обычный – соединенный (тяжеловесный)» может быть установлено максимальное значение соотношения масс поездов «обычный – соединенный (тяжеловесный)» и, как следствие, максимальная масса соединенного (тяжеловесного) поезда, при которой достигается технологический эффект от применения технологии формирования и пропуска соединенных (тяжеловесных) грузовых поездов.

Например, при графиковой массе обычного грузового поезда 6 300 т и массе соединенного поезда 12 000 т соотношение их масс принимает значение 1,9. Следовательно, интервал между поездами «обычный – соединенный» не должен превышать значения 11,6 мин при фактическом интервале между обычными грузовыми поездами, равном 8 мин.

При графиковом интервале между соединенными поездами, равном 12 мин, соотношение интервалов равно 1,5. Следовательно, масса соединенного поезда не должна превышать значения 12 600 т при фактической массе обычного грузового поезда, равной 6 300 т.

Кроме того, в соответствии с рис. 1–3 выявлены следующие закономерности для условного железнодорожного участка:

1) технологический эффект от применения технологии формирования и пропуска соединенных (тяжеловесных) поездов зависит от соотношения масс и соотношения интервалов между соединенным (тяжеловесным) и обычным поездами;

2) для зависимостей провозной способности от соотношения интервалов между поездами «обычный – соединенный (тяжеловесный)» найдена точка равновесия – место пересечения кривых зависимости провозной способности от соотношения интервалов между поездами «обычный – соединенный (тяжеловесный)» при заданной доле соединенных поездов в потоке грузовых. Если фактическое соотношение интервалов между поездами будет меньше данного значения, применение технологии формирования и пропуска соединенных (тяжеловесных) поездов будет технологически эффективным, в противном случае – неэффективным.

Кроме того, построена номограмма, наглядно демонстрирующая зависимость соотношения масс поездов и соотношения интервалов между поездами (рис. 4).

В соответствии с номограммой определена *ось безразличия* – это горизонтальная ось на графике зависимости провозной способности участка от соотношения интервалов между поездами (для заданной доли соединенных (тяжеловесных) поездов в потоке грузовых), выше которой расположена сфера эффективности применения технологии пропуска соединенных (тяжеловесных) грузовых поездов.

В условиях функционирования конкретного железнодорожного участка на сферу эффективного применения технологии формирования и пропуска соединенных (тяжеловесных) поездов, кроме того, оказывают влияние следующие факторы:

– число пассажирских, пригородных и других категорий поездов, время хода которых отличается от времени хода обычного грузового поезда;

– значения коэффициентов съема грузовых поездов другими категориями.

Для исследования влияния числа поездов других категорий на эффективность применения технологии формирования и пропуска соединенных (тяжеловесных) грузовых поездов в исходные параметры условного железнодорожного участка добавлены пассажирские поезда с коэффициентом съема, равным 2.

В этом случае формула (4) для расчета наличной пропускной способности примет вид

$$N_{\text{нал}} = \frac{1440 - t_{\text{техн}}}{I_p} \alpha_n \rho_{\text{доп}} - \sum N_i \varepsilon_i, \quad (9)$$

где  $N_i$  – число поездов  $i$ -й категорий, время хода которых отличается от обычного грузового поезда, ниток поездов;  $\varepsilon_i$  – коэффициент съема грузового поезда  $i$ -й категории.

Как видно из формулы, наличие других категорий поездов будет уменьшать число ниток, используемых для пропуска грузовых поездов.

Результаты расчетов представлены в виде номограммы (рис. 5) при числе пассажирских поездов, обращающихся по участку, равном 20.

В соответствии с номограммой определена область *точек равновесия*, в которой дан-

ной доле соединенных поездов в потоке грузовых соответствует конкретное значение максимального соотношения интервалов между поездами.

В оперативных условиях функционирования железнодорожного участка, когда заранее неизвестно число соединенных (тяжеловесных) поездов, пропускаемых в конкретные сутки, с помощью подобной номограммы можно установить максимально допустимое значение соотношения интервалов между поездами, соответствующее максимальной доле соединенных (тяжеловесных) поездов в потоке.

В соответствии с рис. 5 максимальной доле соединенных (тяжеловесных) поездов в потоке, равной 0,5, соответствует значение отношения интервалов, равное 1,4, т. е. интервал между поездами «обычный – соединенный (тяжеловесный)» должен быть не более 11,2 мин. Для более точных расчетов можно использовать формулу (6).

Таким образом, наличие на участке 20 пассажирских поездов с коэффициентом съема 2 сокращает значение интервала между поездами «обычный – соединенный (тяжеловесный)» с 12 до 11 мин.

Результаты проведенного исследования показали, что для любого участка железной дороги, на котором применяется или планируется применение технологии формирования и

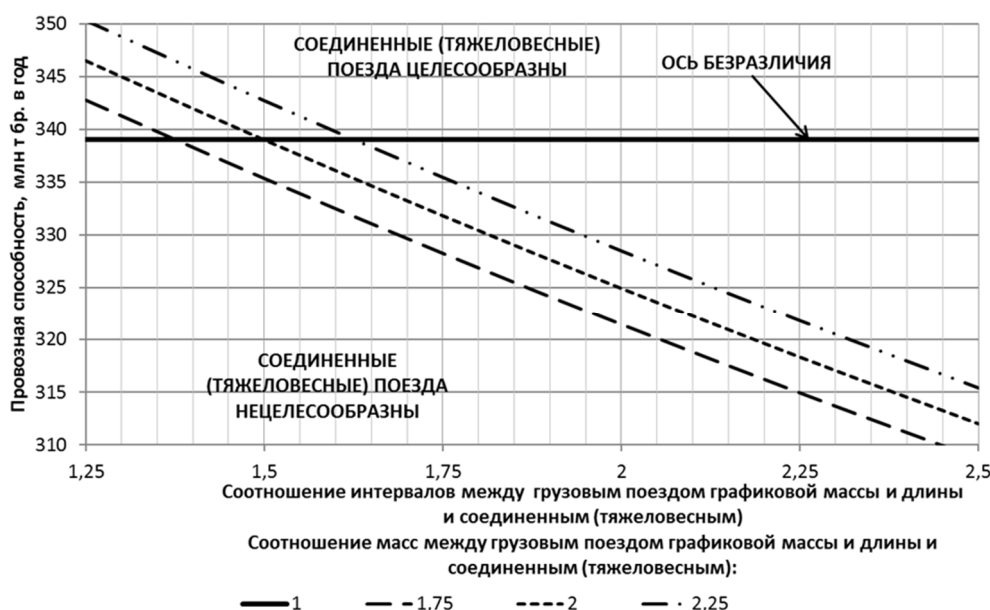


Рис. 4. Номограмма зависимости провозной способности участка от соотношения интервалов между грузовым поездом графической массы и длины и соединенным (тяжеловесным) при заданной доле (0,1) соединенных (тяжеловесных) поездов в потоке грузовых

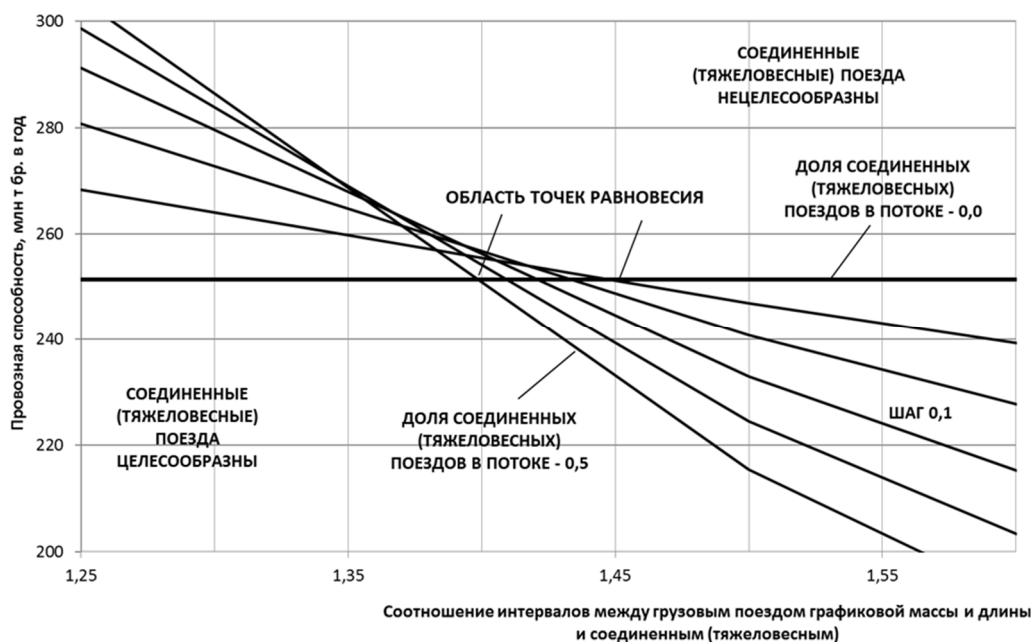


Рис. 5. Номограмма зависимости провозной способности участка от соотношения интервалов между поездами (соотношение масс поездов – 2,25, число пассажирских – 20)

пропуска соединенных (тяжеловесных) поездов имеется возможность составления семейства номограмм зависимости провозной способности участка от соотношения интервалов между поездами при заданном соотношении масс поездов. В оперативных условиях сложившихся суток диспетчерский аппарат железной дороги с помощью данных номограмм может определять максимально допустимое значение соотноше-

ния интервалов между поездами, соответствующее максимальной доле соединенных (тяжеловесных) поездов в потоке. В условиях анализа возможности применения такой технологии номограммы позволяют определить максимальный вес соединенных (тяжеловесных) поездов в зависимости от значения соотношения интервалов между поездами, обусловленного инфраструктурой участка.

### Библиографический список

1. Стратегия инновационного развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 года (Белая книга ОАО «РЖД»). М., 2007. 54 с.
2. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года. Утв. распоряжением Правительства РФ от 17.06.2008 № 877-р. URL: [http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?id=3997&layer\\_id=5104](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?id=3997&layer_id=5104) (дата обращения: 10.10.2017).
3. Плехотич С. А. Пропускная способность двухпутных участков в условиях обращения грузовых поездов различной массы и длины // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2009. № 3–4. С. 48–55.
4. Широков А. П., Ильенко А. В., Веремеенко М. А. Соединенные поезда как мера по увеличению пропускной способности // Научно-технические проблемы транспорта, промышленности и образования: Сб. тр. 62-й межвуз. науч.-техн. конф. творческой молодежи, 7–8 апр. 2004 г. Хабаровск, 2004. Т. 2. С. 41–43.
5. Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 21373. Методика оценки эффективности формирования и пропуска соединенных грузовых поездов на участках и полигонах железных дорог / Е. В. Климова. Дата регистрации 10.11.2015.
6. Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 22007. Методика оценки применения технологии формирования и пропуска тяжеловесных грузовых поездов на участках и полигонах железных дорог / Е. В. Климова, Н. В. Волкова. Дата регистрации 14.07.2016.
7. Климова Е. В. Методика оценки эффективности формирования и пропуска соединенных грузовых поездов на участках и полигонах железных дорог // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2015. № 4. С. 19–23.

8. Станции специализированных железнодорожных магистралей: Учеб. пособие / Ю. И. Ефименко, В. С. Суходеев, П. К. Рыбин, Г. С. Томилина. СПб., 2001. Ч. 2. 91 с.
9. Управление эксплуатационной работой на железнодорожном транспорте: Учеб. для вузов ж.-д. трансп.: В 2 т. Т. 2. Управление движением / В. И. Ковалев [и др.]. М., 2011. 431 с.
10. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог. Утв. ОАО «РЖД» 10.11.2010. М., 2011. 289 с.
11. Инструкция по определению станционных и межпоездных интервалов: ЦД-361. Утв. МПС РФ 16.06.1995. М., 1995. 162 с.

*E. V. Klimova*

#### **Areas of Efficiency Research Application Method Passing Connected and Heavy Freight Trains**

**Abstract.** The article presents results of areas technological efficiency research application method passing connected and heavy freight trains on the conditional railway station-to-station block. It is established that same method may be employed only at term that station-to-station block traffic capacity index exceeds standard value. Otherwise, it is reasonable to apply method passing conventional freight trains.

For technological efficiency identification introduced calculation such indicators as available traffic and line carrying capacities. Variable data are at conventional and connected (heavy freight) trains weights ratio and interval ratio. Optimality test condition: under connected and heavy freight trains part increasing carrying capacity is going up (this fixed combination intervals between conventional and connected trains and weights ratio). Results are presented by nomograms of carrying capacity dependence from combination intervals between conventional and connected (heavy freight) trains for different part of conventional and connected (heavy freight) trains in traffic freight trains. Nomograms allow you to determine balance point notably such combination intervals between conventional and connected (heavy freight) trains above which passing of connected (heavy freight) trains technological are not reasonable.

In addition, the research determines the impact of passenger traffic on the technological efficiency of application method passing connected (heavy freight) trains. The application of this method enabled to evaluate possibility of the increasing traffic development, including the conditions of the high-speed passenger traffic organization and in period of providing technological infrastructure break at the expense of application technology passing connected and heavy freight trains.

**Key words:** *technological efficiency evaluation; connected trains; heavy freight trains; traffic capacity; carrying capacity.*

**Климова Екатерина Викторовна** – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой», научный сотрудник НИЛ «Совершенствование перевозочного процесса» СГУПС. E-mail: kate-kitton@yandex.ru