

УДК 656.212

Ю. Б. ВАН^{1*}

^{1*} Каф. «Управление эксплуатационной работой и охрана труда», Белорусский государственный университет транспорта, улю Кирова, 34, Гомель, Республика Беларусь, 246663, тел. +375(29)1978620 ел. пошта alika_wang@mail.ru, ORCID 0000-0002-8136-0205

ОЦЕНКА РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ СТАНЦИЯМИ ОБГОНА ПОЕЗДОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ СМЕШАННОГО ВЫСОКОСКОРОСТНОГО, ПАССАЖИРСКОГО И ГРУЗОВОГО ДВИЖЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЛИНИИ

Цель. В данной работе предложены методика и результаты расчетов рационального расстояния между станциями при организации смешанного скоростного пассажирского и грузового движения поездов при различных сочетаниях скоростей движения и расположения в графике поездов различных категорий. **Методика.** В статье предлагается методика расчета минимально допустимого расстояния между станциями обгона поездов при различных схемах пропуска поездов по железнодорожному участку. Расчеты рациональных расстояний выполнены на примере железнодорожного направления Москва-Брест. Минимально допустимое расстояние между станциями обгона поездов рассчитывалось при условиях функционирования четырехзначной автоблокировки и максимальной скорости движения пассажирских поездов 250 км/ч. Установлены схемы обгонов поездов различных категорий, для каждой схемы определен период графика движения поездов (ГДП). Рассчитаны минимально допустимые расстояния между станциями обгона поездов в зависимости от схем пропуска пассажирских и грузовых поездов. С помощью имитационного анализа установлено влияние количества поездов различных категорий на минимальные расстояния между станциями обгона при организации смешанных пассажирских и грузовых перевозок между Брестом и Москвой со скоростями до 250 км/ч. **Результаты.** В случае смешанных пассажирских и грузовых перевозок со скоростью 250 км/ч оптимальное расстояние между станциями обгона на направлении Брест-Москва должно составлять около 35 км. С целью эффективного использования существующей инфраструктуры и обеспечения максимальной пропускной способности предложено варьировать скорости движения менее приоритетных категорий поездов. **Научная новизна.** Оптимальное расстояние между станциями обгона поездов на участке зависит от соотношения ходовых скоростей движения поездов различных категорий, а также от реализуемых в графике схем пропуска поездов. Увеличение или уменьшение расстояния между станциями обгона при условии сохранения установленных ходовых скоростей движения снижает наличную пропускную способность участка. При перевозке смешанных пассажирских и грузовых поездов оптимальное расстояние между станциями можно определить исходя из количества поездов и их ходовых скоростей. **Практическая значимость.** Предложен метод оценки оптимального расстояния между станциями обгона, использование которого при увеличении ходовых скоростей движения пассажирских поездов на существующей железнодорожной линии до 250 км/ч обеспечит эффективное использование пропускной способности железнодорожных участков.

Ключевые слова: схема пропуска поездов; график движения поездов; смешанные пассажирские и грузовые перевозки; расстояние между станциями; обгонный пункт; высокоскоростная железная дорога

Введение

В настоящее время в разных странах мира движение пассажирских скоростных и высокоскоростных поездов организовано как по отдельно выделенным путям (раздельное движение) [1, 2], так и по ранее построенным железнодорожным линиям совместно с грузовыми и пассажирскими поездами (смешанное движение). Исходя из объемов перевозок высокоскоростными поездами, размеров движения поездов различных категорий, состояния железнодорожной инфраструктуры каждая страна

определяет целесообразность организации раздельного или смешанного движения высокоскоростных поездов с поездами других категорий [3].

В рамках данной статьи выполнены аналитические расчеты исходя из предположения об организации смешанного движения высокоскоростных поездов со скоростями до 250 км/ч по существующей железнодорожной инфраструктуре на направлении Брест-Москва [4-6]. Опыт организации смешанных перевозок с такими ходовыми скоростями на дорогах колеи 1520 уже имеется в Российской Федерации при

организации движения между Москвой и Санкт-Петербургом.

При этом важно обеспечить, с одной стороны, максимально возможную скорость движения поездов различных категорий, а с другой – эффективное использование пропускной способности существующих железнодорожных линий [7]. Решение этих задач возможно за счет выбора рациональных вариантов пропуска поездов различных категорий через станции обгона и определения рациональных расстояний между станциями исходя из сочетаний ходовых скоростей движения поездов [8].

В статье используется метод расчета коэффициента съема поездов и определение оптимального расстояния между станциями [9] исходя из количества обгонов поездов и расстояния между станциями при разных временах движения поездов по перегону.

Цель

В современных условиях актуальной задачей для железнодорожного транспорта является повышение скоростей движения поездов при условии эффективного использования пропускных способностей инфраструктуры железнодорожных участков. В связи с этим целью работы является расчет оптимальных расстояний между станциями обгона поездов при организации смешанного движения высокоскоростных, пассажирских и грузовых поездов исходя из условия обеспечения минимальных значений коэффициентов съема.

Методика

При организации движения пассажирских поездов со скоростью 200 км/ч и выше для разграничения движения поездов попутного направления используется четырехзначная

система автоблокировки [10]. При этом длина одного блок-участка составляет не менее 2 км (рис. 1).

При таких условиях минимальное расстояние между станциями обгона L_{\min} составит:

$$L_{\min} = L_{out} + 4L_{block} + L_{brake} + L_{enter}, \quad (1)$$

где L_{out} – расстояние от выходного светофора до оси станции, принимается равным 1200м;

L_{block} – длина блок-участка, 2000 м;

L_{brake} – расстояния от проходного светофора до входного светофора станции, 2000 м;

L_{enter} – расстояния от входного светофора до оси станции 1800 м.

Тогда минимально допустимое расстояние между станциями при организации высокоскоростного движения составит

$$L_{\min} = 1200 + 4 \cdot 2000 + 2000 + 1800 = 13000 \text{ м.}$$

Следовательно, минимально допустимое расстояние между станциями, обеспечивающее безопасный пропуск поездов при организации смешанного движения высокоскоростных и грузовых поездов должно составлять не менее 13 км.

Организация смешанного движения на железнодорожной линии предполагает курсирование поездов с различными ходовыми скоростями. В данной работе поезда разделены на три категории: высокоскоростные пассажирские поезда (экспресс поезда) – тип А, пассажирские поезда (к данной категории могут быть отнесены как обычные пассажирские поезда, так и скоростные грузовые поезда, которые следуют по перегонам с близкими к пассажирским ходовыми скоростями) – тип В и грузовые – тип С.

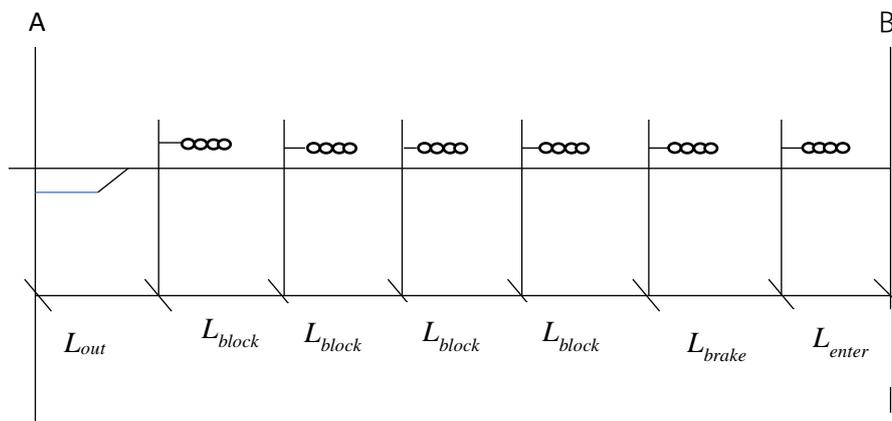


Рис. 1. Минимальное расстояние между станциями обгона поездов

Исходя из этого возможны следующие схемы пропуска поездов по участкам (рис. 2): пассажирские экспрессы, обгоняющие пассажирские поезда общего назначения, обозначим данную схему как ВА; экспресс-поезда, обгоняющие грузовые поезда, – схема СА; пассажирские поезда, обгоняющие грузовые поезда – схема СВ; экспресс-поезда, обгоняющие одновременно пассажирские и грузовые поезда - схема СВА.

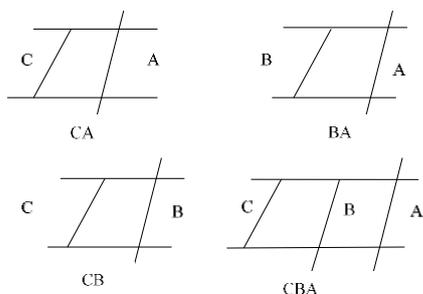


Рис.2. Схемы обгона поездов

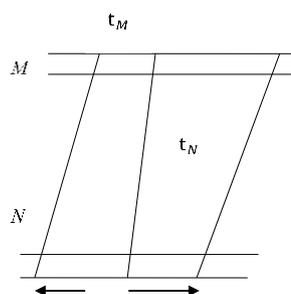


Рис. 3. Схема съема поездов попутного направления

Для схемы пропуска поездов типа ВА продолжительность периода графика T_{BA} может быть определено по формуле:

$$T_{BA} = T_B - T_A + t_M + t_N, \quad (2)$$

где T_B – время следования пассажирского поезда по перегону;

T_A – время следования экспресс-поезда по перегону;

t_M – минимальный интервал прибытия поездов попутного направления;

t_N – минимальный интервал отправления поездов попутного направления.

Интервалы попутного прибытия и отправления могут быть рассчитаны по формулам:

$$t_M = t_{A(M-1-M)} + I, \quad (3)$$

$$t_N = t_{A(N-N+1)} + I, \quad (4)$$

где $t_{A(M-1-M)}$ – время проследования поездом экспресс входной горловины станции M ($M-1 \sim M$);

$t_{A(N-N+1)}$ – время проследования поездом экспресс выходной горловины станции N ($N \sim N+1$);

I – межпоездной интервал.

Аналогичным образом рассчитывается период графика для схемы пропуска СА

$$T_{CA} = T_C - T_A + t_M + t_N, \quad (5)$$

где T_C – время следования грузового поезда по перегону.

Для схемы пропуска поездов типа СВ продолжительность периода графика составит

$$T_{CB} = T_C - T_B + t_M + t_N, \quad (6)$$

Для схемы СВА

$$T_{CBA} = T_C - T_A + t'_M + t'_N, \quad (7)$$

где t'_M – минимальный интервал прибытия поездов;

t'_N – минимальный интервал отправления поездов.

$$t'_M = t_{A(M-1-M)} + t_{B(M-1-M)} + 2I, \quad (8)$$

$$t'_N = t_{A(N-N+1)} + t_{B(N-N+1)} + 2I, \quad (9)$$

где: $t_{B(M-1-M)}$ – время проследования пассажирским поездом входной горловины станции M ($M-1 \sim M$);

$t_{B(N-N+1)}$ – время проследования пассажирским поездом выходной горловины станции N ($N \sim N+1$).

Согласно приведенному выше анализу, количество пассажирских поездов, обгоняющих грузовые поезда K_{CY} , составляет

$$K_{CY} = \left[\frac{T_{CB}}{I_B} \right] + \left[\frac{T_{CA}}{I_A} \right] = \left[\frac{T_{CB} \cdot n_A}{1440} \right] + \left[\frac{T_{CA} \cdot n_B}{1440} \right], \quad (10)$$

где n_A – количество ниток экспрессов в графике движения поездов;

n_B – количество ниток пассажирских поездов в ГДП.

Количество обгонов экспресс-поездами пассажирских поездов обгонял обычные пассажирские поезда K_{BA} , составляет

$$K_{BA} = \left[\frac{T_{BA}}{I_A} \right] = \left[\frac{T_{BA} \cdot n_A}{1440} \right], \quad (11)$$

Поскольку $T_{BA} > T_{CB}$, при увеличении скорости пассажирских экспрессов количество обгонов грузовых поездов увеличивается на большую величину, чем количество обгонов пассажирских поездов. Увеличение общего количества станций обгонов пропорционально количеству экспресс-поездов в ГДП n_A и ходовой скорости этих поездов.

Исходя из данных предположений сформулированы основные аналитические принципы расчета оптимального расстояния между станциями обгона поездов.

На двухпутном участке, при организации смешанного движения высокоскоростных, пассажирских и грузовых поездов будут образовываться съемы грузовых поездов пассажирскими (рис. 4).

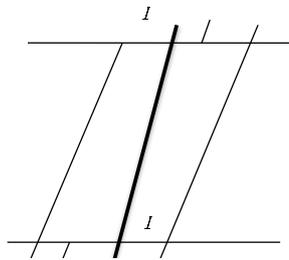


Рис. 4. Схема обгона пассажирским поездом грузового

Коэффициент основного съема может быть рассчитан по формуле

$$\varepsilon_{\text{осн}} = \frac{t_{\text{гр}} + I_{\text{приб}} - t_{\text{пас}} + I_{\text{отпр}} + t_{\text{р-з}} - I}{I}, \quad (12)$$

где $\varepsilon_{\text{осн}}$ – основной коэффициент съема для пассажирских поездов;

$t_{\text{гр}}, t_{\text{пас}}$ – перегонные времена хода соответственно пассажирских и грузовых поездов;

$I_{\text{приб}}, I_{\text{отпр}}$ – интервалы соответственно попутного прибытия и отправлением поездов;

$t_{\text{р-з}}$ – дополнительные затраты времени на разгоны и замедления.

При условии, когда разница между временем движения грузового поезда $t_{\text{гр}}$ и временем движения пассажирского поезда $t_{\text{пас}}$ между двумя соседними станциями обгона равна межпоездному интервалу I , коэффициент съема принимает минимальное значение. Исходя из этого условия, оптимальное расстояние между

станциями обгона поездов на двухпутном участке составит

$$t_{\text{гр}} - t_{\text{пас}} = I, \quad (13)$$

$$t_{\text{гр}} = \frac{I}{1 - \Delta t}, \quad (14)$$

где Δt – соотношение времени движения пассажирского и грузового поездов между станциями обгона.

Результаты

В соответствии с проанализированными выше схемами пропуска поездов может быть рассчитано оптимальное расстояние между станциями. В данной статье максимальная скорость высокоскоростных пассажирских поездов принимается равной 250 км/ч, а ходовая скорость – 230 км/ч. Диапазон скоростей обычных пассажирских поездов составляет 100~140 км/ч, со средней скоростью 120 км/ч, а диапазон ходовых скоростей скоростных грузовых поездов скорости составляет 80~120 км/ч, со средним значением 100 км/ч. Исходные данные для выполнения расчетов приведены в табл. 1. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Дополнительно проведен анализ оптимального расстояния между станциями обгона при условии увеличения скорости движения грузовых поездов при значениях межпоездных интервалов 8, 10 и 12 минут (табл. 3). В результате расчетов установлено, что при скоростях движения высокоскоростных поездов 250 км/ч и межпоездном интервале 8 минут оптимальное расстояние между станциями увеличивается с 16 до 31 км, т.е. почти в два раза. При организации движения пассажирских поездов со скоростью 200 км/ч разница еще больше увеличивается (с 18 до 40 км).

При увеличении скорости движения скоростных пассажирских поездов, до 140 км/ч, требуемое расстояние между станциями обгона увеличивается и может достигать 60 км (табл. 4).

Таблица 1

Значения скоростей движения пассажирских и грузовых поездов (км/ч)

скорость	Пассажирский поезд				Грузовой поезд		
	Пассаж. Высок.	Пассаж. экспресс	Пассаж. экспресс	Обычн. скоро.	Сквозные и ные и участко-	скоростной	Сборные
Максимальная	250	200	140	120	80	120	80
Ходовая	230	180	120	100	60	100	60

Таблица 2

Оптимальное расстояние между станциями для различных перебоев при разных интервалах слежения

Схема пропуска поездов	<i>I_{min}</i> (числитель - продолжительность периода, мин; знаменатель - расстояние между станциями, км)		
	12	10	8
	обыч. грузовой поезд(80 км/ч) – Пассаж. Высок.(250 км/ч)	18/24	15/20
быстр. Груз. (120 км/ч) –Пассаж. Высок.(250 км/ч)	23/46	19/38	15/31
обычн. Пассаж. (120 км/ч) –Пассаж. Высок.(250 км/ч)	23/46	19/38	15/31
быстр. Пассаж. (140 км/ч) –Пассаж. Высок.(250 км/ч)	27/64	23/53	18/42
Пассаж. экспресс(200 км/ч) –Пассаж. Высок.(250 км/ч)	60/200	50/167	40/133
обыч. грузовой поезд(80 км/ч) – Пассаж. экспресс(200 км/ч)	20/27	17/22	13/18
быстр. Груз. (120 км/ч) – экспресс. Пасса. (200 км/ч)	30/60	25/50	20/40
обычн. Пассаж. (120 км/ч) – экспресс. Пассаж. (200 км/ч)	30/60	25/50	20/40
быстр. Пассаж. (140 км/ч) – экспресс. Пассаж. (200 км/ч)	40/93	33/78	27/62
обыч. Груз. (80 км/ч) – быстр. Пассаж. (140 км/ч)	28/37	23/31	19/25
быстр. Груз. (120 км/ч) –быстр. Пассаж. (140 км/ч)	84/168	70/140	56/112
обычн. Пассаж. (120 км/ч) –быстр. Пассаж. (140 км/ч)	84/168	70/140	56/112
обычн. Груз. (80 км/ч) –обычн. Пассаж. (120 км/ч)	36/48	30/40	24/32
обыч. Груз. (80 км/ч) –быстр. Груз. (120 км/ч)	36/48	30/40	24/32

Из приведенного выше анализа видно, что эффективное расстояние между станциями обратно пропорционально разнице скоростей между пассажирскими и грузовыми поездами, то есть чем меньше разница в скоростях между пассажирскими и грузовыми поездами, тем больше необходимое расстояние между станциями.

Исходя из этого, можно получить, что при различных интервалах движения, на смешанной пассажирской и грузовой линии со скоростью 200 км / ч, когда грузовой поезд развивает скорость до 120 км / ч, так же, пассажирский поезд до 140 км/ч, оптимальное расстояние между станциями будет увеличиваться в среднем в разной степени.

Следует отметить, что в соответствии с расчетами определяется рациональное расстояние между станциями обгона исходя из условия обеспечения максимальной пропускной способности, а между ними могут располагаться и другие станции.

Таблица 3

Оптимальное расстояние между станциями обгона при движении скоростных грузовых поездов до 120 км/ч

Тип перерасхода	<i>I_{min}</i> (Расстояние между станциями при скорости грузовых поездов 80 км/ч, км / Расстояние между станциями при увеличении скорости до 120 км/ч, км / Увеличение оптимального расстояния между станциями, км)		
	12	10	8
	грузовой поезд (120 км/ч) –высокоскоростной поезд (250 км/ч)	24/46/23	20/38/19
обыч. грузовой поезд (120 км/ч) – Пассаж. экспресс (200 км/ч)	27/60/33	22/50/28	18/40/22

Таблица 4

При движении скоростных пассажирских поездов до 140 км/ч расстояние между станциями

Тип перерасхода	<i>I_{min}</i> (Расстояние между станциями при скорости движения пассажирских поездов 120 км/ч, км / Расстояние между станциями после увеличения скорости до 140 км/ч, км / Увеличение оптимального расстояния между станциями, км)		
	12	10	8
	обычн. Пассаж. (140km/h) –Пассаж. Высок.(250km/h)	46/64/17	38/53/15
обычн. Пассаж. (140km/h) – экспресс. Пассаж. (200km/h)	60/93/33	50/78/28	40/62/22

Научная новизна и практическая значимость

На примере железнодорожного направления Брест-Москва был проведен имитационный анализ рационального расстояния между станциями обгона поездов при различных вариантах расположения в графике движения различных категорий поездов и их процентном соотношении.

Общая протяженность участка организации смешанного движения Брест-Москва составляет 997 км. Маршрутное время следования по участкам поездов различных категорий приведено в таблице 5. Расчетные формулы для определения количества обгонов поездов для различных сочетаний приведены в табл. 6.

При условии, что отправляющиеся поезда распределены в графике движения равномерно, количество обгонов экспресс пассажирскими поездами скоростных пассажирских составляет

$$N_{\text{э.п.-б.п.}} = \left[\frac{T_{\text{э.п.-б.п.}} \cdot n_{\text{э.п.}}}{1320} \right], \quad (15)$$

где $T_{\text{э.п.-б.п.}}$ – продолжительность периода графика, при котором экспресс пассажирские поезда обгоняют скоростные пассажирские поезда.

$n_{\text{э.п.}}$ – количество экспресс пассажирских поездов.

Количество обгонов пассажирскими поездами грузовых составляет

$$N_{\text{п.-о.г.}} = \left[\frac{T_{\text{в.п.-о.г.}} \cdot n_{\text{в.п.}}}{1320} \right] + \left[\frac{T_{\text{э.п.-о.г.}} \cdot n_{\text{э.п.}}}{1320} \right] + \left[\frac{T_{\text{б.п.-о.г.}} \cdot n_{\text{б.п.}}}{1320} \right] + \left[\frac{T_{\text{о.п.-о.г.}} \cdot n_{\text{о.п.}}}{1320} \right], \quad (16)$$

где $T_{\text{в.п.-о.г.}}$ – продолжительность периода графика, при котором высокоскоростной пассажирский поезд обгоняет грузовой;

$T_{\text{э.п.-о.г.}}$ – продолжительность периода графика, при котором экспресс пассажирский поезд обгоняет поезда;

$T_{\text{б.п.-о.г.}}$ – продолжительность периода графика, при котором скорый пассажирский поезд обгоняет грузовой;

$T_{\text{о.п.-о.г.}}$ – продолжительность периода графика, при котором пассажирский поезд обгоняет грузовой;

$n_{\text{б.п.}}$ – количество скорых пассажирских поездов;

$n_{\text{о.п.}}$ – количество пассажирских поездов.

В зависимости от количества поездов и способа организации перевозки среднее расстояние между станциями в вышеупомянутых различных ситуациях различается. Для удобства расчета в данной статье предполагается, что общее количество поездов равно 100.

Результаты расчётов приведены в табл. 5-11.

Таблица 5

Маршрутное время следования поездов различных категорий на направлении Брест-Москва (мин)

Направление	Пассажирский поезд				Грузовой поезд	
	высокоскоростной 250km/h	экспресс 200km/h	скоростной 140km/h	пассажирский 120km/h	грузовой 80km/h	ускоренный 120km/h
Брест-Москва	239.3	299.1	427.29	498.5	747.8	498.5

Таблица 6

Формулы расчета периодов времени обгонов поездов

Тип периода графика	Продолжительность периода, мин
в.п. .250km/h-э.п.200km/h	$T_{\text{э.п.-в.п.}} = T_{\text{э.п.}} - T_{\text{в.п.}} + I_{\text{при}} + I_{\text{отп}}$
в.п. .250km/h-б.п.140km/h	$T_{\text{б.п.-в.п.}} = T_{\text{б.п.}} - T_{\text{в.п.}} + I_{\text{при}} + I_{\text{отп}}$
в.п. .250km/h-Б. г. 120km/h	$T_{\text{б.г.-в.п.}} = T_{\text{б.г.}} - T_{\text{в.п.}} + I_{\text{при}} + I_{\text{отп}}$
в.п. .250km/h-О.п.120km/h	$T_{\text{о.п.-в.п.}} = T_{\text{о.п.}} - T_{\text{в.п.}} + I_{\text{при}} + I_{\text{отп}}$
в.п. .250km/h-О.г. 80km/h	$T_{\text{о.г.-в.п.}} = T_{\text{о.г.}} - T_{\text{в.п.}} + I_{\text{при}} + I_{\text{отп}}$
э.п.200km/h - б.п.140km/h	$T_{\text{э.п.-б.п.}} = T_{\text{б.п.}} - T_{\text{э.п.}} + I_{\text{при}} + I_{\text{отп}}$
э.п.200km/h - О.г. 80km/h	$T_{\text{э.п.-о.г.}} = T_{\text{о.г.}} - T_{\text{э.п.}} + I_{\text{при}} + I_{\text{отп}}$
э.п.200km/h - Б. г. 120km/h	$T_{\text{э.п.-б.г.}} = T_{\text{б.г.}} - T_{\text{э.п.}} + I_{\text{при}} + I_{\text{отп}}$
э.п.200km/h - О.п.120km/h	$T_{\text{э.п.-о.п.}} = T_{\text{о.п.}} - T_{\text{э.п.}} + I_{\text{при}} + I_{\text{отп}}$
б.п.140km/h - О.г. 80km/h	$T_{\text{б.п.-о.г.}} = T_{\text{о.г.}} - T_{\text{б.п.}} + I_{\text{при}} + I_{\text{отп}}$
б.п.140km/h - Б. г. 120km/h	$T_{\text{б.г.-б.п.}} = T_{\text{б.г.}} - T_{\text{б.п.}} + I_{\text{при}} + I_{\text{отп}}$
б.п.140km/h - О.п.120km/h	$T_{\text{б.п.-о.п.}} = T_{\text{о.п.}} - T_{\text{б.п.}} + I_{\text{при}} + I_{\text{отп}}$
О.п.120km/h - О.г. 80km/h	$T_{\text{о.п.-о.г.}} = T_{\text{о.г.}} - T_{\text{о.п.}} + I_{\text{при}} + I_{\text{отп}}$
Б. г. 120km/h - О.г. 80km/h	$T_{\text{б.г.-о.г.}} = T_{\text{о.г.}} - T_{\text{б.г.}} + I_{\text{при}} + I_{\text{отп}}$

Таблица 7

**Оптимальное расстояние между станциями на направлении при 10% грузовых поездов
(5% скоростных грузовых поездов) и 90% пассажирских поездов**

груз.10%, пассаж.90%, быс. груз.5%				б.г.120km/h-5%		о.г.80km/h-5%	
п-50km/h-5%	п-200km/h-5%	п-140km/h	п-120km/h	Количество обгон	Расстояние между станциями	Количество обгон	Расстояние между станциями
5	5	70	10	7	129	24	40
10	10	60	10	8	112	25	38
15	15	50	10	9	99	26	37
20	20	40	10	10	88	27	35
25	25	30	10	12	80	29	34
30	30	20	10	13	73	30	32
35	35	10	10	14	67	31	31
5	5	60	20	6	142	23	41
10	10	50	20	7	121	25	39
15	15	40	20	8	106	26	37
20	20	30	20	10	94	27	36
25	25	20	20	11	84	28	34
30	30	10	20	12	77	29	33
5	5	50	30	5	157	23	42
10	10	40	30	7	132	24	40
15	15	30	30	8	114	25	38
20	20	20	30	9	100	26	36
25	25	10	30	10	90	28	35
5	5	40	40	5	176	22	43
10	10	30	40	6	146	23	41
15	15	20	40	7	124	25	39
20	20	10	40	8	108	26	37
5	5	30	50	4	201	22	44
10	10	20	50	5	162	23	42
15	15	10	50	6	136	24	40
5	5	20	60	3	233	21	45
10	10	10	60	4	182	22	43
5	5	10	70	3	279	21	46

Таблица 8

**Оптимальное расстояние между станциями на направлении при 20% грузовых поездов
(5% скоростных грузовых поездов) и 80% пассажирских поездов**

груз.20%, пассаж.80%, быс. груз.5%				б.г.120km/h-5%		о.г.80km/h-5%	
п-250km/h-5%	п-200km/h-5%	п-140km/h	п-120km/h	Количество обгон	Расстояние между станциями	Количество обгон	Расстояние между станциями
5	5	60	10	6	142	21	45
10	10	50	10	7	121	22	42
15	15	40	10	8	106	24	40
20	20	30	10	10	94	25	39
25	25	20	10	11	84	26	37
30	30	10	10	12	77	27	35
5	5	50	20	5	157	21	46
10	10	40	20	7	132	22	43
15	15	30	20	8	114	23	41
20	20	20	20	9	100	24	39
25	25	10	20	10	90	26	38
5	5	40	30	5	176	20	47
10	10	30	30	6	146	21	44
15	15	20	30	7	124	23	42
20	20	10	30	8	108	24	40
5	5	30	40	4	201	20	48
10	10	20	40	5	162	21	46
15	15	10	40	6	136	22	43
5	5	20	50	3	233	19	50
10	10	10	50	4	182	20	47
5	5	10	60	3	279	19	51

Таблица 9

**Оптимальное расстояние между станциями на направлении при 30% грузовых поездов
(5% скоростных грузовых поездов) и 70% пассажирских поездов**

груз.30%, пассаж.70%, быс. груз.5%				б.г.120km/h-5%		о.г.80km/h-5%	
п-250km/h-5%	п-200km/h	п-160km/h	п-120km/h	Количество обгон	Расстояние между станциями	Количество обгон	Расстояние между станциями
5	5	50	10	5	157	19	51
10	10	40	10	7	132	20	48
15	15	30	10	8	114	21	45
20	20	20	10	9	100	22	43
25	25	10	10	10	90	24	41
5	5	40	20	5	176	18	52
10	10	30	20	6	146	19	49
15	15	20	20	7	124	21	46
20	20	10	20	8	108	22	44
5	5	30	30	4	201	18	53
10	10	20	30	5	162	19	50
15	15	10	30	6	136	20	47
5	5	20	40	3	233	17	55
10	10	10	40	4	182	18	52
5	5	10	50	3	279	17	57

Таблица 10

**Оптимальное расстояние между станциями на направлении при 40% грузовых поездов
(5% скоростных грузовых поездов) и 60% пассажирских поездов**

груз.40%, пассаж.60%, быс. груз.5%				б.г.120km/h-5%		о.г.80km/h-5%	
п-250km/h-5%	п-200km/h	п-160km/h	п-120km/h	Количество обгон	Расстояние между станциями	Количество обгон	Расстояние между станциями
5	5	40	10	5	176	16	58
10	10	30	10	6	146	17	54
15	15	20	10	7	124	19	51
20	20	10	10	8	108	20	48
5	5	30	20	4	201	16	60
10	10	20	20	5	162	17	56
15	15	10	20	6	136	18	52
5	5	20	30	3	233	15	62
10	10	10	30	4	182	16	58
5	5	10	40	3	279	15	64

Таблица 11

**Оптимальное расстояние между станциями на направлении при 50% грузовых поездов
(5% скоростных грузовых поездов) и 50% пассажирских поездов**

груз.50%, пассаж.50%, быс. груз.5%				б.г.120km/h-5%		о.г.80km/h-5%	
п-250km/h-5%	п-200km/h	п-160km/h	п-120km/h	Количество обгон	Расстояние между станциями	Количество обгон	Расстояние между станциями
5	5	30	10	4	201	14	68
10	10	20	10	5	162	15	63
15	15	10	10	6	136	16	59
5	5	20	20	3	233	13	71
10	10	10	20	4	182	14	66
5	5	10	30	3	279	12	74

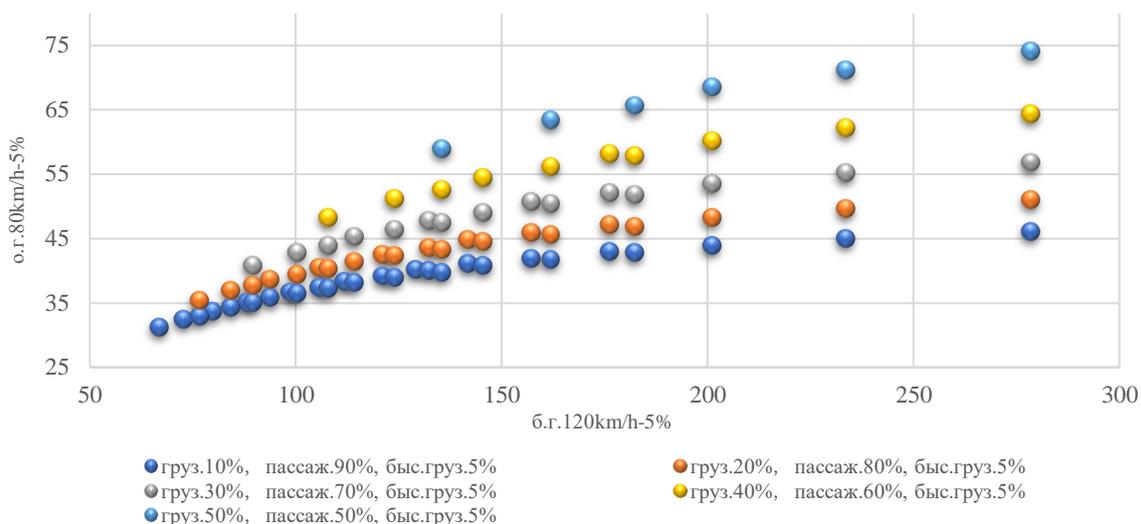


Рис. 5. Оптимальное расстояние между станциями обгона при различных пропорциях количества пассажирских и грузовых поездов

Выводы

В результате выполненных расчетов установлено, что при соотношении пассажирских и грузовых поездов 1 к 9, оптимальное расстояние между станциями составляет 30-40 км. При изменении этого соотношения до пропорции 1 к 4, оптимальное расстояние между станциями увеличивается до 35-50 км. Максимальных значений оптимальное расстояние между станциями обгона принимает при соотношении пассажирских поездов к грузовым 1 к 1 и составляет между 65-75 км (рисунок 5).

Таким образом, с увеличением количества пассажирских поездов в графике расчета видно, что расстояние между станциями обгона увеличивается. Эту закономерность необходимо учитывать при решении вопросов, связанных с развитием инфраструктуры промежуточных станций.

Для направления Брест-Москва оптимальное расстояние между станциями для смешанных пассажирских и грузовых перевозок со скоростью 250 км / ч должно составлять около 35 км. Но с увеличением соотношения грузовых поездов оптимальное расстояние между станциями также увеличивается примерно на 5~10 км.

Для скоростных и пассажирских поездов целесообразно совмещать остановки для обгона поездов со стоянками для посадки и высадки пассажиров.

Однако при расчёте рациональных расстояний между станциями обгона необходимо также учитывать неравномерность размещения поездов различных категорий в ГДП. С учетом

повышения адаптивности графика к реальным условиям пропуска поездов, расстояние между станциями обгона должно составлять около 25-30 км. Кроме того, снижение коэффициента съема поездов может достигаться за счет варьирования ходовых скоростей движения поездов менее приоритетных категорий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Gordukalova, G. F. (2014). Citation index in science: the purpose of use, the main varieties and limitations. *Bulletin of SPbUCA*, 2(19), 54-57.
2. Yarime, M. (2015). Integrated Solutions to Complex Problems: Transforming Japanese Science and Technology. In F. Baldwin & A. Allison (Eds.), *Japan: The Precarious Future* (pp. 213-235). New York: New York University Press. doi:10.18574/nyu/9781479889389.003.0010.
3. Zhang, F., & Zhang, X. (2014). Patent activity analysis of vibration-reduction control technology in high-speed railway vehicle systems in China. *Scientometrics*, 100(3), 723-740. doi: 10.1007/s11192-014-1318-3.
4. Watson, R. (2001). The effect of privatization on train planning: a case study of the UK. *Transportation Reviews* 21(2), 181-193.
5. Xiaoning Zhu. (2001). Computer-based simulation analysis of railway carrying capacity utilization. *IEEE*. 106-111.
6. David Briqinshaw. Europe's high-speed network takes shape. *Railway Age*. Bristol: Sep 2003. Vol. 204, Iss.9; pg.80.
7. Koichi SAKURAI. Railway System Innovation. *Japanese Railway Engineering*. 2000, No.145.
8. Carey, M., 1994a. A model and strategy for train pathing with choice of lines, platforms and routs. *Transportation Research B* 28(5), 333-353.

9. Harris, N.G., Godward, E. W., (1997). The Privatization of British Rail. A.& N. Harris The Railway Consultancy Press, London.

10. Petersen, E. R., A.J., Martland, C.D., (1986). An introduction to computer aided train dispatching. Journal of Advanced Transportation 20, 63-72.

Поступила в редколлегию 15.06.2021

Принята к печати 27.06.2021

Ю. Б. ВАН

ОЦІНКА ВІДСТАНИ МІЖ СТАНЦІЯМИ ОБГОНУ ПОЇЗДІВ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗМІШАНОГО ВИСОКОШВИДКІСНОГО, ПАСАЖИРСЬКОГО І ВАНТАЖНОГО РУХУ НА ЗАЛІЗНИЧНІЙ ЛІНІЇ

Мета. У даній роботі запропоновані методика і результати розрахунків раціональної відстані між станціями при організації змішаного швидкісного пасажирського і вантажного руху поїздів при різних поєднаннях швидкостей руху та розташування у графіку поїздів різних категорій. **Методика.** У статті пропонується методика розрахунку мінімально допустимої відстані між станціями обгону поїздів при різних схемах пропуску поїздів по залізничній ділянці. Розрахунки раціональних відстаней виконані на прикладі залізничного напрямку Москва-Брест. Мінімально допустима відстань між станціями обгону поїздів розраховувалась за умов функціонування чотиризначного автоблокування і максимальної швидкості руху пасажирських поїздів 250 км/год. Встановлено схеми обгонів поїздів різних категорій, для кожної схеми визначено період графіка руху поїздів. Розраховані мінімально допустимі відстані між станціями обгону поїздів в будь якій схемі пропуску пасажирських і вантажних поїздів. За допомогою імітаційного аналізу встановлено вплив кількості поїздів різних категорій на мінімальні відстані між станціями обгону при організації змішаних пасажирських і вантажних перевезень між Брестом і Москвою зі швидкостями до 250 км/год. **Результати.** У разі змішаних пасажирських і вантажних перевезень зі швидкістю 250 км/год оптимальна відстань між станціями обгону на напрямку Брест-Москва має становити близько 35 км. З метою ефективного використання існуючої інфраструктури та забезпечення максимальної пропускної здатності запропоновано варіювати швидкості руху менш пріоритетних категорій поїздів. **Наукова новизна.** Оптимальна відстань між станціями обгону поїздів на ділянці залежить від співвідношення ходових швидкостей руху поїздів різних категорій, а також від реалізованих в графіку схем пропуску поїздів. Збільшення або зменшення відстані між станціями обгону за умови збереження встановлених ходових швидкостей руху знижує наявну пропускну спроможність ділянки. При перевезенні змішаних пасажирських і вантажних поїздів оптимальну відстань між станціями можна визначити виходячи з кількості поїздів та їх ходових швидкостей. **Практична значимість.** Запропоновано метод оцінки оптимальної відстані між станціями обгону, використання якої при збільшенні ходових швидкостей руху пасажирських поїздів на існуючій залізничній лінії до 250 км/год забезпечить ефективне використання пропускної спроможності залізничних ділянок.

Ключові слова: схема пропуску поїздів; графік руху поїздів; змішані пасажирські і вантажні перевезення; відстань між станціями; обгінний пункт; високошвидкісна залізниця

ESTIMATION OF THE DISTANCE BETWEEN STATIONS OF OVERTAKING TRAINS WHEN ORGANIZING A MIXED HIGH-SPEED, PASSENGER AND FREIGHT TRAFFIC ON A RAILWAY LINE

Purpose. This paper presents the calculation method and result of reasonable station spacing in the organization of mixed high-speed passenger and freight transportation, at different speed combinations and different types of train schedules.

Methodology. By using the principle of the shortest distance between stations, this paper analyzes the possible layout of passenger and freight trains running at different speeds between Brest and Moscow, and work out the optimal distance between overtaking stations. According to the shortest distance between stations, the blocking method with four-digit automatic should be used when the maximum speed of the passenger train is 250 km/h. The crossing scheme for different types of trains is determined, and the train schedule period (TDS) of each scheme is determined. Calculate the appropriate distance between stations that had been passed through with different trip intervals according to the characteristics of the passing passenger and freight trains. By adopting simulation analysis, the influence of different number of trains and their composition on the station spacing is simulated to work out the reasonable railway station spacing for passenger and freight train with a speed of 250 km / h.

Findings. In the case of passenger and freight traffic with the speed of 250 km / h, the optimal distance for stations between Brest and Moscow should be around 35 km. In order to make effective use of the existing infrastructure and achieve maximum transit capacity of the railway, it is recommended to increase the speed of the low priority trains.

Originality. The distance between stations on a line will affect the number of stations on the entire line, as well as the maximum train speed and the number of train pairs. Excessive or insufficient station spacing will affect the transportation capacity and efficiency. Therefore, reasonable station spacing will determine the number of trains and the maximum speed of each train for both passenger and freight.

Practical value. This paper proposes a method to estimate the reasonable spacing between crossing stations, which can ensure the effective utilization of the capacity of railway sections when high speed passenger trains on existing lines are running at speeds of up to 250 km/h.

Keywords: overtaking train; train schedule; passenger and freight traffic; the distance of station; overtaking station; high speed train