

Моделирование пропуска поездопотоков через однопутный лимитирующий элемент трассы при организации скоростного движения с использованием существующей инфраструктуры

С. В. КАРАСЁВ, А. Д. КАЛИДОВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО СГУПС), Новосибирск, 630049, Россия

Аннотация. Рассматривается задача исследования процесса пропуска встречных поездопотоков через однопутный элемент трассы методом моделирования для условий организации скоростного движения при минимизации капитальных вложений в инфраструктуру.

При незначительных размерах скоростного движения на неосновных линиях, в том числе фидерных линиях для высокоскоростных магистралей, вопрос экономии капитальных вложений в инфраструктуру является особенно актуальным. Значительная экономия может быть обеспечена при использовании однопутных искусственных сооружений, а также однопутных перегонов в условиях, когда строительство второго главного пути связано с существенным увеличением стоимости. Однако в этом случае возникает важный вопрос оценки влияния скоростного движения на пропускную способность как однопутных элементов, так и линии в целом.

При эксплуатации однопутно-двухпутного варианта трассы встает вопрос достаточности уровня пропускной способности мест перехода с двух на один путь (однопутный элемент трассы, далее — лимитирующий элемент), а также определения возможных задержек поездов. Для исследования условий пропуска поездов через такие элементы трассы была разработана программа «Барьер-1», позволяющая на основе методов теории массового обслуживания оценить пропускную способность лимитирующего элемента. В модели реализован алгоритм, не накладывающий ограничений на характеристики входящего потока, что позволяет исследовать различные условия пропуска поездов через лимитирующий элемент (в частности, регулярность или нерегулярность потока, интервалы между поездами, время занятия лимитирующего элемента). Результаты моделирования пропуска встречных поездопотоков отображаются в числовом виде, а также в виде графика движения поездов с учетом увеличения времени на подходах к лимитирующему элементу. Модель учитывает особенности пропуска встречных поездопотоков и позволяет определить оптимальный способ пропуска скоростных и прочих поездов через лимитирующий элемент трассы.

С использованием модели проведены расчет и анализ пропускной способности лимитирующего элемента трассы для различных вариантов организации пропуска скоростных поездов, а также определены условия, при соблюдении которых обеспечивается максимальная пропускная способность с минимальным количеством и временем задержки (замедления) поездов на подходах к лимитирующему элементу.

Ключевые слова: скоростное движение; пропускная способность; имитационное моделирование движение поездов; лимитирующий элемент

Введение. При организации скоростного и особенно высокоскоростного движения (далее — скоростное движение) одной из основных проблем является высокая стоимость инфраструктуры. Сооружение специализированных скоростных линий позволяет обеспечить при прочих равных условиях максимальные скорости движения, высокую пропускную способность и безопасность скоростных перевозок. Однако главным препятствием для использования такого решения в России является весьма высокая стоимость специализированной инфраструктуры, которая в совокупности с низкой плотностью населения и большой территорией, требующей сооружения достаточно протяженных линий, создает значительные риски с точки зрения коммерческой целесообразности подобных проектов. Другие страны, имеющие скоростное железнодорожное движение, в той или иной степени сталкивались с такой же проблемой. В ряде стран (Япония, Германия, Испания) имеют место комбинированные решения по конфигурации скоростных линий, когда на основных «пассажиронаполненных» направлениях сооружаются специализированные высокоскоростные магистрали, а в других случаях для пропуска скоростных и высокоскоростных поездов используется реконструированная существующая линия с ограничением скорости до меньших значений [1].

При относительно небольшом пассажиропотоке в ряде случаев для сокращения необходимых инвестиций может проектироваться линия однопутно-двухпутного типа [2]. Это особенно актуально при высокой стоимости замены однопутных элементов трассы двухпутными (мосты, тоннели, перегоны с высокой стоимостью строительства дополнительного

главного пути). На отдельных перегонах двухпутных линий с целью экономии капитальных затрат могут проектироваться однопутные искусственные сооружения (мосты, тоннели).

Проектирование однопутно-двухпутных линий (рис. 1) в ряде случаев позволяет уменьшить объем необходимых инвестиций на 30–40 % по сравнению с полностью двухпутным вариантом трассы [2]. Эффективность такого варианта конфигурации скоростной линии увеличивается в трудных условиях, при наличии большого количества искусственных сооружений.

При реализации однопутно-двухпутного варианта трассы требуется иметь методику расчета пропускной способности ее элементов, в том числе в зоне перехода с двух на один путь, а также метод расчета экономических потерь, связанных с возможными задержками пропуска поездопотока, с увеличением времени нахождения скоростного поезда в пути в случае недостатка пропускной способности однопутного элемента.

Основная часть. В настоящее время согласно Инструкции по расчету наличной пропускной способности расчет выполняется по каждому перегону отдельно, а определение результирующей пропускной способности участка производится по перегону с наименьшей пропускной способностью [3]. С целью увеличения пропускной способности точки слияния и разделения главных путей могут сдвигаться к границам лимитирующего элемента.

В зависимости от числа главных путей на перегоне могут использоваться различные виды графиков движения поездов, в том числе смешанного движения скоростных пассажирских и обычных грузовых поездов.

При существующем подходе к расчету пропускной способности при разных скоростях движения пассажирских и грузовых поездов расчет выполняется для непараллельного графика (с учетом коэффициента съема пропускной способности поездами разной категории). При зависимости коэффициента съема от соотношения скоростей движения, числа поездов различных категорий и других факторов возникает множество вариантов сочетания этих факторов, причем каждому из них соответствует свое значение пропускной способности [4]. Таким образом, аналитически можно выполнить лишь приближенную оценку влияния повышения скорости движения на пропускную способность. Ввиду того, что существующие схемы не учитывают пропуск поездов с разными скоростями, величина пропускной способности принимает предельные значения при равнозаполненном графике движения поездов [4].

На предпроектном этапе при рассмотрении возможности использования однопутных элементов на двухпутной трассе со скоростным движением задачу

оценки условий пропуска поездов через лимитирующий элемент можно решать как при произвольных моментах подхода поездов разной категории, так и при определенной их упорядоченности — в частности, для условий тактового движения [5]. Для этого необходимо иметь соответствующий метод расчета наличной пропускной способности лимитирующего элемента. Кроме того, следует учитывать возможность пропуска смешанного поездопотока, в котором, помимо скоростных поездов, будут присутствовать поезда обычной скорости (в частности, при организации скоростного движения на существующей или новой неспециализированной линии, при наличии грузового движения).

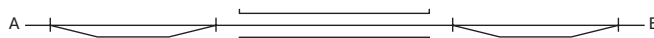


Рис. 1. Участок трассы, включающий лимитирующий элемент
Fig. 1. A section of the route including a limiting element

При этом следует учитывать конструктивные параметры лимитирующего элемента, определяющие затраты времени по проходу поездов (его протяженность, конструктивно обусловленные ограничения скорости).

Пропуск встречных потоков поездов через лимитирующий элемент является сложным процессом, имеющим вероятностный характер. В частности, каждый поезд может иметь свое время занятия лимитирующего элемента, приоритет пропуска. Для решения задачи определения пропускной способности лимитирующего элемента предлагается использовать имитационное моделирование [6, 7] пропуска встречных поездопотоков через однопутно-двухпутный участок. При этом однопутный элемент трассы предлагается рассматривать в виде системы массового обслуживания (СМО).

Разработана программа имитационного моделирования пропуска встречных поездопотоков через лимитирующий элемент инфраструктуры «ИМ Барьер-1» [8, 9, 10], позволяющая выполнять необходимые модельные эксперименты как при произвольных входящих потоках и времени обслуживания (т. е. длительности занятия лимитирующего элемента), так и при любых вариантах упорядоченности поездопотоков (в частности, при организации тактового движения скоростных поездов).

Рассматриваемая СМО характеризуется следующими параметрами:

1. Интенсивность входящего потока требований. В качестве входящего потока требований в данном случае рассматриваются поезда, поступающие с двухпутного перегона к однопутному лимитирующему элементу. Моменты подхода поездов обоих направлений могут генерироваться или задаваться в явном виде.

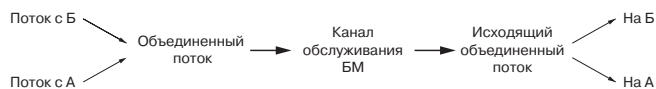


Рис. 2. Схема лимитирующего элемента трассы, представляемого в виде СМО
Fig. 2. The scheme of the limiting element of the route, represented in the form of a queuing system

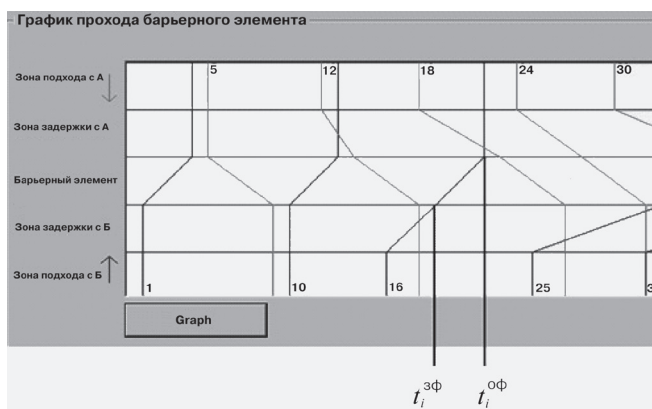


Рис. 3. График пропуска встречных поездопотоков через лимитирующий элемент (фрагмент): ($t_i^{3ф}$) — моменты фактического занятия лимитирующего элемента i -м поездом; ($t_i^{оф}$) — моменты фактического освобождения лимитирующего элемента i -м поездом

Fig. 3. Schedule of passing the opposite train flows through limiting element (fragment): ($t_i^{3ф}$) — the moments of the actual occupation of the limiting element by the i -th train; ($t_i^{оф}$) — the moments of the actual release of the limiting element by the i -th train

2. Интенсивность обслуживания входящих требований. Интенсивность обслуживания (длительность занятия каждым поездом лимитирующего элемента) зависит от протяженности лимитирующего элемента, а также от возможных скоростных ограничений или ограничений, связанных с пропускной способностью (задержками).

Элементы трассы, предшествующие лимитирующему элементу (подходы к нему с обоих направлений), рассматриваются в роли «накопителей очереди». При этом задержка по лимитирующему элементу — это не только остановка скоростного или иного поезда, но и «затягивание» поезда на подходе (снижение скорости и, соответственно, увеличение

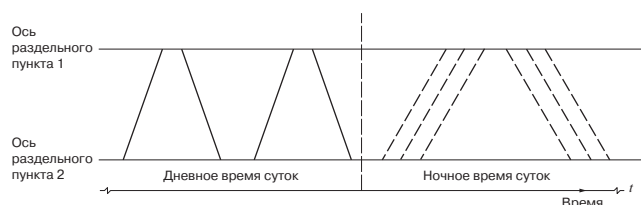


Рис. 4. Фрагмент пакетного графика движения по временам суток:
—— — скоростные поезда; ---- — поезда обычной скорости

Fig. 4. Fragment of the package traffic schedule at times of day:
—— — high-speed trains; ---- — normal speed trains

времени хода) на время, равное рассчитанному времени задержки, или сдвигка момента отправления поезда с предшествующего раздельного пункта на более поздний момент.

Алгоритм модели [6] основан на объединении двух входящих с разных направлений потоков требований (поездов) в общий поток, последовательность пропуска требований определяется моментами их входа в систему и их приоритетом (рис. 2).

Исходный входящий поток с каждого направления задается в виде совокупности из m требований, каждое из которых характеризуется множеством признаков $\{P_i\}$, $i = 1, 2 \dots m$. В качестве последних может выступать категория поезда, его приоритет, момент подхода поезда к лимитирующему элементу, вес поезда, ограничения скорости для данного поезда и др.

Результаты моделирования пропуска встречных поездопотоков представляются в виде графика движения с отображением увеличения времени на подходах к лимитирующему элементу из-за его занятости пропуском встречного поезда (рис. 3).

В числовом виде отображаются следующие результаты моделирования (для каждого поезда рассматриваемого потока):

- 1) моменты фактического занятия лимитирующего элемента i -м поездом ($t_i^{3ф}$);
- 2) моменты фактического освобождения лимитирующего элемента i -м поездом ($t_i^{оф}$);
- 3) длительность задержки (потеря времени при проходе через лимитирующий элемент) для i -го поезда ($t_i^3 = t_i^{3ф} - t_i^n$, где t_i^n — момент подхода i -го поезда к лимитирующему элементу).

Также модель позволяет выполнять экономическую оценку потерь, связанных с использованием данного лимитирующего элемента на проектируемой или новой трассе. Дополнительные расходы по задержке в пути следования i -го поезда определяются по формуле:

$$Z_i = t_i^3 e_i^3, \quad (1)$$

где e_i^3 — принятая стоимость минуты задержки (увеличения времени хода) поезда каждой категории — скоростного, обычного (получаемая, например, с использованием расходной ставки стоимости одного поезда-часа).

Можно выделить три варианта пропуска поездов через лимитирующий элемент трассы, обусловленных способом организации движения.

Вариант 1: смешанное скоростное и обычное движение с разделением суток на периоды для пропуска скоростных и прочих (прежде всего грузовых) поездов. В этом случае для пропуска грузовых поездов при

большом их количестве может использоваться пакетный график движения (рис. 4). В таком случае при интенсивном скоростном движении грузовые поезда целесообразнее пропускать в ночное время суток, периоды совместного пропуска обычных и скоростных поездов могут отсутствовать.

Вариант 2: смешанное скоростное и обычное движение без разделения по периодам суток (рис. 5). В этом случае будет иметь место существенный съём ниток нескоростных поездов скоростными.

Вариант 3: специализация линии только под скоростное движение. В этом случае пропуск скоростных поездов через лимитирующий элемент может выполняться как непакетным (рис. 6), так и пакетным способом (при большом количестве скоростных поездов).

Возможен промежуточный вариант организации движения с чередованием периодов пропуска скоростных и обычных поездов.

Для того чтобы оценить целесообразность использования вариантов 1 и 2, необходимо, помимо размеров движения, учесть организацию работы направления в целом, а также техническое оснащение участков. В частности, разделение скоростных и обычных поездов по периодам суток потребует изменения организации работы станций и при больших размерах грузового движения — большего путевого развития станций. Очевидно, что специализация линии существенно упрощает организацию движения, а также работу раздельных пунктов по сравнению со смешанным движением.

Большинство действующих высокоскоростных и скоростных линий в мире проектируются в двухпутном исполнении, что, очевидно, оказывает влияние на схему пропуска поездов, тип графика движения. Однако при организации на линии скоростного движения прокладка ниток скоростных поездов будет в значительной мере определяться потребностями пассажиров, закономерностями образования пассажиропотока. В этом случае конфигурация линии (полностью двухпутная или двухпутно-однопутная, как в рассматриваемом случае) будет выступать в качестве ограничения того или иного варианта схемы пропуска скоростных поездов на локальных участках трассы.

Для исследования существующих вариантов схем движения скоростных поездов рассматривался как отечественный, так и зарубежный опыт. Результаты анализа расписаний движения скоростных поездов на различных действующих линиях [11, 12] показывают следующее:

1. При организации движения скоростных поездов в разных странах используются различные типы графика движения: непакетный график движения

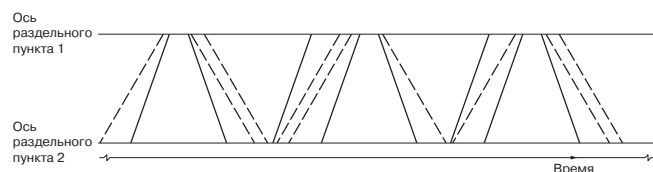


Рис. 5. Фрагмент графика движения скоростных поездов и поездов обычной скорости:

—— — скоростные поезда; — — — — поезда обычной скорости

Fig. 5. Fragment of the graph of the motion of high-speed trains and trains of ordinary speed:

—— — high-speed trains; — — — — normal speed trains

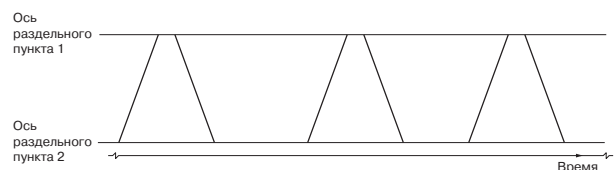


Рис. 6. Фрагмент непакетного графика движения скоростных пассажирских поездов:

—— — скоростные поезда

Fig. 6. Fragment of non-pack schedule of high-speed passenger trains:

—— — high-speed trains

скоростных поездов (Китай), пакетный график с двумя поездами в пакете (Россия, направление Москва — Санкт-Петербург — Москва), частично-пакетный в остальных случаях (часть времени суток — парное непакетное движение скоростных поездов, часть — пакетное).

2. При сопоставимых размерах скоростного пассажирского движения на разных линиях применяются разные типы графиков движения. Типичными вариантами являются: а) равнозаполненный график с равными интервалами по отправлению поездов, т. е. тактовый график движения; б) частично пакетный график с пропуском пакетов в периоды более интенсивного отправления пассажиропотока и непакетным движением в остальную часть суток.

3. В течение периода движения скоростных поездов можно выделить периоды с разной интенсивностью движения. Чаще всего это сгущенный пропуск в утреннее и вечернее время и разряжение потока поездов в обеденный период.

Пропуск скоростных и высокоскоростных поездов происходит по схеме, соответствующей в большинстве случаев описанному ранее варианту 1, т. е. с выделением отдельного периода, в который пропускаются такие поезда. Часто используется тактовое движение с интервалами, отличающимися по периодам суток. Примерные границы периода пропуска скоростных поездов: с 04:00 до 7:20 в утренние часы и с 17:20 до 23:25 в вечерние. Оставшаяся часть суток для скоростного движения либо не используется, либо выполняется пропуск единичных скоростных поездов.

Таблица 1

Характеристика применяемых схем организации движения скоростных и высокоскоростных поездов

Table 1

Characteristics of the applied schemes for organizing the motion of express and high-speed trains

Рассматриваемое направление движения скоростных поездов	Размеры движения пассажирских поездов, поездов	Минимальный интервал, мин	Максимальный интервал, мин	Средний интервал, мин	Средняя интенсивность движения скоростных поездов, поездов/ч	Наиболее часто встречающийся интервал (мода), мин	Границы и ширина периода движения, ч	Расстояние, км	Тип графика движения поездов
Москва — Санкт-Петербург	11	10	230	76	0,8	10	05:40—19:40 14	715	Пакетный
Санкт-Петербург — Москва	11	10	230	74	0,8	10	05:30—19:10 13,7		
Париж — Марсель	14	18	120	60	1	60	06:10—20:20 14	773	Частично-пакетный
Марсель — Париж	14	23	121	58	1	60	05:20—19:00 13,7		
Мадрид — Севилья	17	25	120	53	1,1	60	06:20—21:25 15	532	Частично-пакетный
Севилья — Мадрид	17	24	125	52	1,1	60	06:10—21:00 14,8		
Франкфурт-на-Майне — Гамбург	16	49	135	68	0,89	60	05:06—23:24 18,3	491	Частично-пакетный
Гамбург — Франкфурт-на-Майне	16	51	165	71	0,84	60	03:46—22:46 19		
Париж — Лион	21	16	72	45	1,4	54	05:50—21:00 15,2	463	Частично-пакетный
Лион — Париж	21	30	90	45	1,4	30	06:04—21:04 15		
Гамбург — Мюнхен	12	60	125	65	0,9	60	04:56—18:01 13	768	Частично-пакетный
Мюнхен — Гамбург	12	44	120	68	0,9	60	04:02—17:47 13,7		
Ухань — Чанчжоу	22	1	86	23	2,2	5	07:20—17:21 10	666	Непакетный
Чанчжоу — Ухань	22	4	55	25	1,8	6	07:10—19:07 11,8		

Результаты анализа применяемых схем сведены в табл. 1.

На основании полученных показателей на данном этапе исследований для оценки условий пропуска скоростных поездов через лимитирующий элемент при различных его параметрах приняты следующие условия пропуска: равнозаполненный график с тактовым движением в течение расчетного периода шириной 9 ч для пропуска скоростных поездов.

При использовании в пределах двухпутной линии однопутных вставок необходимо связать уровень пропускной способности однопутного лимитирующего элемента не только со схемой пропуска поездов, но и с теми параметрами этого элемента, которые определяют проектные и конструктивные решения трассы, а именно

с протяженностью и ограничением скорости движения. На графике (рис. 7) представлены зависимости времени занятия лимитирующего элемента от его длины и средней скорости прохождения по нему поезда.

В качестве основных варьируемых параметров, влияющих на пропускную способность лимитирующего элемента, были выбраны следующие:

— величина сдвижки моментов отправления поездов встречных направлений S по отдельным пунктам, расположенным на подходах к лимитирующему элементу (рис. 8), принималась равной 15 и 20 мин;

— величина интервалов между поездами I для условий тактового движения принималась равной 15, 30, 45 и 60 мин;

Таблица 2

Варианты организации пропуска скоростных поездов
через лимитирующий элемент

Table 2

Options for organizing the passage of high-speed trains
through the limiting element

Вариант модельного эксперимента	I , мин	S , мин	Потребная пропускная способность участка, пар поездов в течение расчетного периода
Вариант 1	15	15	36
Вариант 2	15	20	36
Вариант 3	30	15	18
Вариант 4	30	20	18
Вариант 5	45	15	12
Вариант 6	45	20	12
Вариант 7	60	15	10
Вариант 8	60	20	10

— время занятия лимитирующего элемента $t_{\text{зан}}$ варьировалось от 1 до 15 мин.

Обозначение основных варьируемых параметров представлено на рис. 8.

При использовании различных вариантов пропуска поездов через лимитирующий элемент пропуск может осуществляться без задержек поездов или с задержками, соответствующими увеличению времени хода скоростного поезда. Вид графика движения при пропуске поездов через лимитирующий элемент представлен на рис. 9. Отклонения «ниток» в зонах задержки со стороны подходов А и Б соответствуют увеличению времени хода поезда.

Для выявления ограничений в пропускной способности лимитирующего элемента трассы при

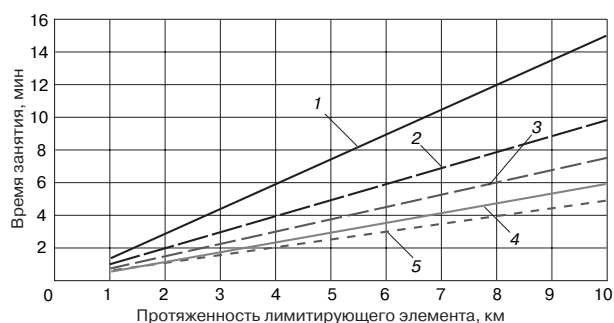


Рис. 7. Зависимость времени занятия поездом лимитирующего элемента от его конструктивных и эксплуатационных параметров: 1 — скорость 40 км/ч; 2 — скорость 60 км/ч; 3 — скорость 80 км/ч; 4 — скорость 100 км/ч; 5 — скорость 120 км/ч

Fig. 7. Dependence of the time the train occupies the limiting element from its design and operational parameters:

1 — speed of 40 km/h; 2 — speed of 60 km/h; 3 — speed of 80 km/h; 4 — speed of 100 km/h; 5 — speed of 120 km/h

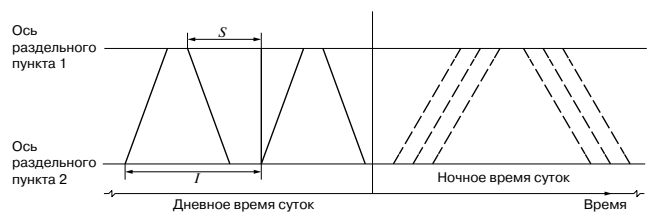


Рис. 8. Обозначения варьируемых параметров при разработке графика подвода поездов к лимитирующему элементу:

—— — скоростные поезда; ---- — поезда обычной скорости

Fig. 8. Designations of variable parameters for the development of the schedule of train approach to the limiting element:

—— — high-speed trains; ---- — normal speed trains

организации скоростного движения для рассматриваемых в работе условий было сформировано 8 вариантов модельных экспериментов (табл. 2), различающихся параметрами организации движения скоростных поездов (см. рис. 8).

В результате моделирования пропуска встречных поездопотоков через лимитирующий элемент трассы

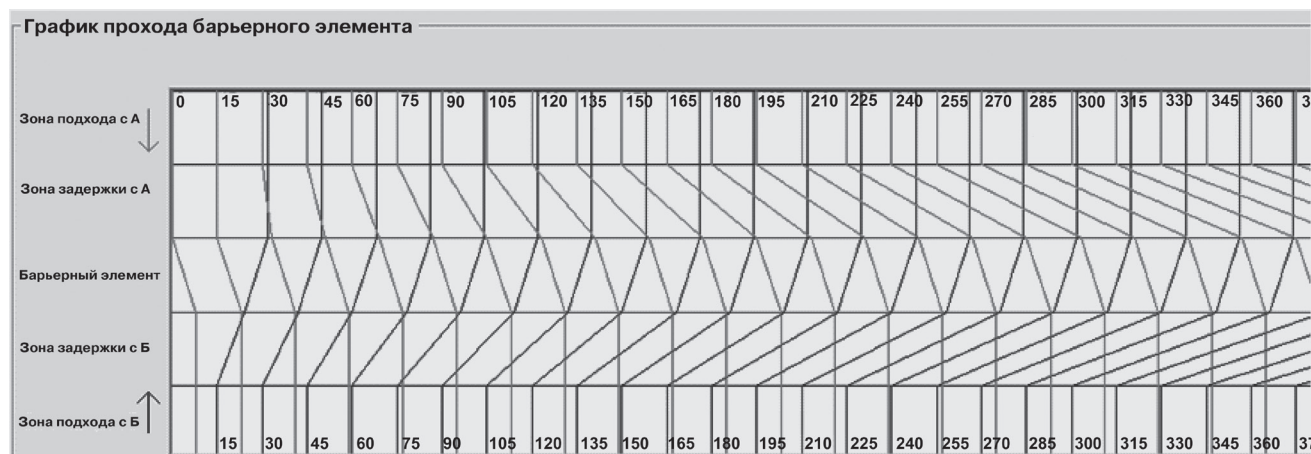


Рис. 9. Фрагмент графика движения с задержками при пропуске встречных поездопотоков через лимитирующий элемент

Fig. 9. Fragment of the traffic schedule with delays when passing the opposite train flows through the limiting element

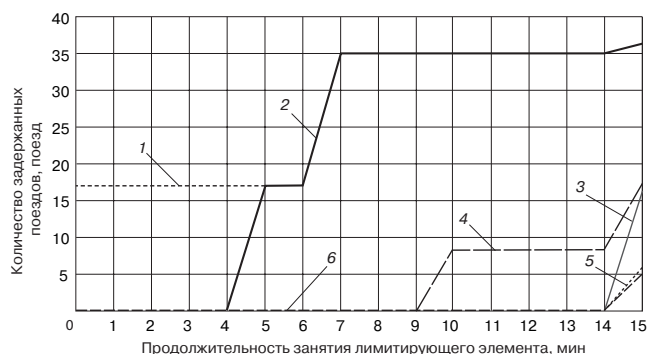


Рис. 10. График зависимости количества задержанных поездов от длительности занятия лимитирующего элемента, обусловленной вариантами организации пропуска поездов: 1 — вариант 1; 2 — вариант 2; 3 — вариант 3; 4 — вариант 4; 5 — вариант 5; 6 — вариант 6; 7 — вариант 7

Fig. 10. Schedule for the number of delayed trains from the duration of the occupation of the limiting element, depending on the options for arranging the passage of trains: 1 — option 1; 2 — option 2; 3 — option 3; 4 — option 4; 5 — option 5; 6 — option 6; 7 — option 7

ходит резкий рост количества задержанных поездов и, соответственно, потеря пропускной способности. Организация пропуска скоростных поездов по вариантам 6 и 8 не вызвала задержек при пропуске через лимитирующий элемент.

Существенное значение имеет величина сдвиги моментов подхода встречных скоростных поездов к лимитирующему элементу, оптимизация которой позволяет исключить нерациональные варианты моментов подвода встречных поездов к лимитирующему элементу (рис. 11). Так, для варианта 4 изменение величины сдвиги встречных поездопотоков на 5 мин по сравнению с вариантом 3 обеспечивает существенное сокращение количества задержек при одинаковом уровне пропускной способности.

При оценке влияния наличия лимитирующего элемента на возможность пропуска через него встречных поездопотоков необходимо оценивать не только количество случаев задержки, но также дли-

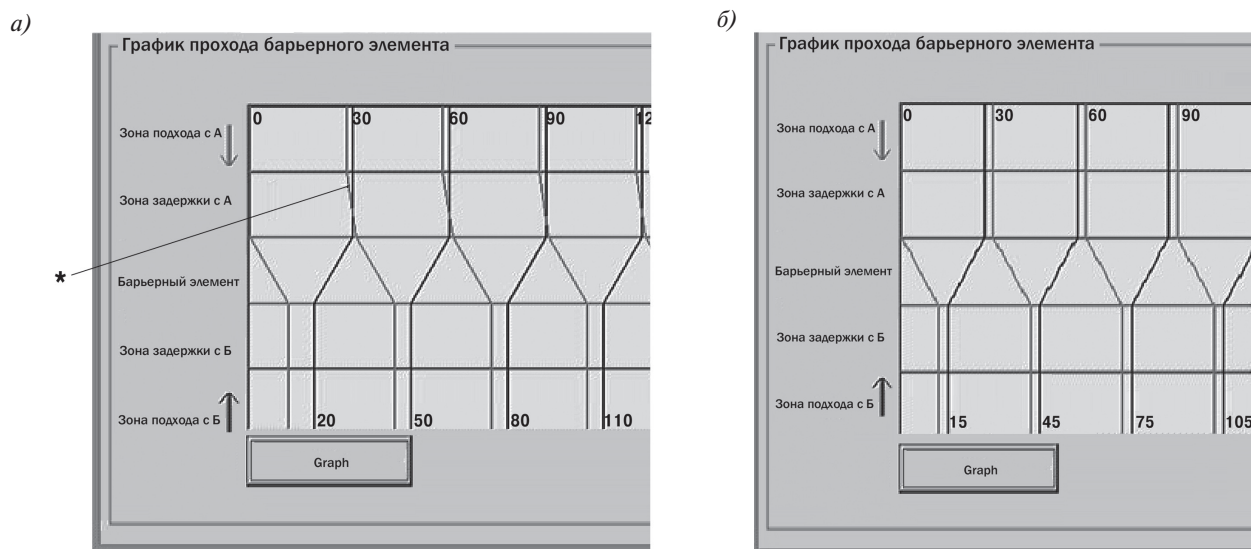


Рис. 11. Оптимизация сдвиги моментов подхода встречных поездопотоков для сокращения задержек у лимитирующего элемента трассы: а — вариант 3; б — вариант 4; * — нерациональная сдвиги моментов подвода поездопотока с направления А, приводящая к его задержкам на подходе к лимитирующему элементу

Fig. 11. Optimization of the shifting of the moments of the opposite flow trains approach to reduce delays in the limiting element of the route: а — option 3; б — option 4; * — irrational shifting of the moments of train flow approaching from the direction A, leading to its delays on approaching the limiting element

для условий тактового движения скоростных поездов получены зависимости количества задержек поездов и времени задержки, пропускной способности лимитирующего элемента от его конструктивных (протяженность) и эксплуатационных (допустимая скорость движения) параметров. Результаты представлены на рис. 10.

Результаты моделирования показали, что для всех вариантов пропуска скоростных поездов существуют значения продолжительности занятия поездом лимитирующего элемента, после которых проис-

тельность этих задержек. Длительность задержки, превышающая величину интервала между поездами I , будет приводить к потере «нитки». В то же время незначительная по времени задержка может быть компенсирована «затягиванием» скоростного поезда на предыдущих участках трассы или смещением момента его отправления с начальной станции для того, чтобы обеспечить более поздний его подход к рассматриваемому лимитирующему элементу.

На основании полученных результатов была построена номограмма (рис. 12), которая может ис-

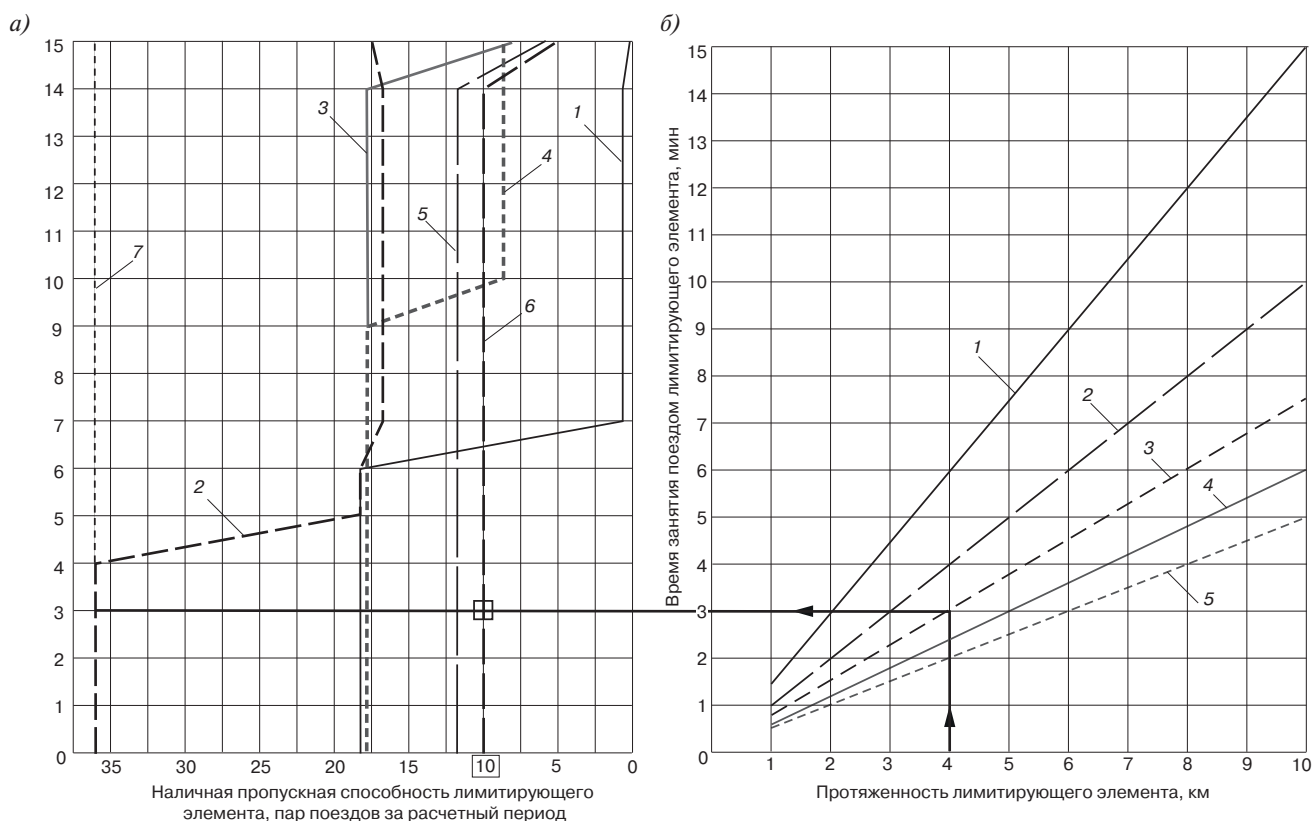


Рис. 12. Номограмма для определения ограничений наличной пропускной способности лимитирующего элемента двухпутной линии в зависимости от потребной пропускной способности линии, схемы пропуска скоростных поездов, параметров лимитирующего элемента:

a — наличная пропускная способность лимитирующего элемента, пар поездов за расчетный период;
 1 — вариант 1; 2 — вариант 2; 3 — вариант 3; 4 — вариант 4; 5 — вариант 5; 6 — вариант 7; 7 — вариант 6, 8;
б — протяженность лимитирующего элемента, км; 1 — скорость 40 км/ч; 2 — скорость 60 км/ч; 3 — скорость 80 км/ч;
 4 — скорость 100 км/ч; 5 — скорость 120 км/ч

Fig. 12. Nomogram for determining the limitations of the available capacity of a limiting element of double-track line, depending on the required line capacity, scheme for passing high-speed trains, parameters of the limiting element:

a — actual capacity of a limiting element, pairs of trains for the accounting period;
 1 — option 1; 2 — option 2; 3 — option 3; 4 — option 4; 5 — option 5; 6 — option 7; 7 — option 6, 8;
б — length of the limiting element, km; 1 — speed of 40 km/h; 2 — speed of 60 km/h; 3 — speed of 80 km/h; 4 — speed of 100 km/h;
 5 — speed of 120 km/h

пользоваться для определения возможности пропуска необходимого количества скоростных поездов через однопутный элемент двухпутной трассы при различной протяженности и скоростных ограничениях лимитирующего элемента.

Заключение. 1. Использование однопутных элементов (искусственных сооружений, перегонов) на двухпутной линии при организации скоростного движения является резервом экономии капитальных затрат при сооружении новой и реконструкции существующей трассы. При этом наличие таких элементов может влиять на ограничения наличной пропускной способности линии. Оценить это влияние можно на основе моделирования работы лимитирующего элемента, представляя его в виде СМО. Разработана соответствующая программная модель.

2. Наличная пропускная способность однопутного элемента трассы может быть определена в рамках многофакторной модели. Она зависит от продолжительности занятия элемента поездом, интенсивности движения (потребной пропускной способности) и от схемы пропуска скоростных поездов. Продолжительность занятия лимитирующего элемента, в свою очередь, определяется его протяженностью и допустимой скоростью движения. Полученная номограмма может использоваться для решения как прямой задачи (определения максимальной наличной пропускной способности при известных параметрах лимитирующего элемента), так и обратной (т. е. определения допустимых параметров элемента трассы при заданном уровне пропускной способности лимитирующего элемента).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. UIC — International union of railways. The worldwide railway organisation [Electronic resource]. URL: <http://uic.org/> (дата обращения: 17.10.2017 г.).
2. Castillo E., Nogal M., Grande Z. An alternate double-single track proposal for high-speed peripheral railway lines // *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 2015. № 30. P. 181–201.
3. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог. М., 2011. 290 с.
4. Левин Д. Ю., Павлов В. Л. Расчет и использование пропускной способности железных дорог. М.: ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. 364 с.
5. Левин Д. Ю. Очереди на железной дороге // *Мир транспорта*. 2014. № 2. С. 132–141.
6. Калидова А. Д. Разработка метода технологической оценки процесса пропуска поездопотоков через однопутное барьерное место двухпутной линии на основе имитационного моделирования // *Транспорт Урала*. 2017. № 2 (53). С. 102–108.
7. Калидова А. Д. Анализ возможностей совмещения скоростного и обычного движения с использованием существующей инфраструктуры // *Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. А. А. Сукиасяна*. Уфа, 2016. Ч. 2. С. 52–55.

8. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем — искусство и наука: пер. с англ. М.: МИР, 1978. 420 с.
9. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004. 847 с.
10. Карасев С. В., Калидова А. Д. Программа имитационного моделирования пропуска поездов через однопутное барьерное место инфраструктуры «Барьер-1». Свидетельство о регистрации электронного ресурса ОФЭРНИО № 22781 от 23.05.2017.
11. Search and compare cheap buses, trains and flights [Electronic resource]. URL: <https://ru.goeuro.com/> (дата обращения: 23.10.2017 г.).
12. ОАО «Российские железные дороги» [Электронный ресурс: [сайт]. URL: <http://www.rzd.ru/> (дата обращения: 25.10.2017 г.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

КАРАСЁВ Сергей Владимирович,
канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой
«Железнодорожные станции и узлы», ФГБОУ ВО СГУПС

КАЛИДОВА Александра Дмитриевна,
аспирант кафедры «Железнодорожные станции и узлы»,
ФГБОУ ВО СГУПС

Статья поступила в редакцию 03.11.2017 г., актуализирована 27.12.2017 г., принята к публикации 14.01.2018 г.

Modeling of train flow handling through a limiting single-track section of the route at the organization of high-speed operation using the existing infrastructure

S. V. KARASEV, A. D. KALIDOVA

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Siberian State Transport University" (FGBOU VO SGUPS), Novosibirsk, 630049, Russia

Abstract. The article examines the problem of studying the process of handling the opposing train flows through a single track section of the route by modeling for the conditions of organizing high-speed operation while minimizing capital investments in infrastructure.

The issue of saving capital investments in infrastructure is especially urgent with the small size of high-speed traffic on non-main lines, including feeder lines for high-speed routes. Significant savings can be ensured by using single-track fixed structures, as well as single-track distances in conditions where the construction of the second main track is associated with a significant increase in cost. However, in this case, an important question arises about the effect of high-speed traffic on the capacity of single-track sections and on the line as a whole.

When operating a one-track or two-track section of the route, the issue arises on the adequacy of the capacity level of the junction points from two to one track (one-track section of the route, then the limiting element), and also the possible delays of trains. To investigate the conditions for passing trains through such sections of the route, the Barrier-1 program was developed, which makes it possible to estimate the capacity of the limiting element on the basis of the methods of queuing theory. The model implements an algorithm that does not impose any restrictions on the characteristics of the incoming train flow, which makes it possible to investigate the various conditions for trains to pass through the limiting element (in particular, the regularity or irregularity of the flow, the intervals between trains, the occupation times of the limiting element). The results

of modeling the passing of counter traffic flows are displayed in numerical form, as well as in the form of the train traffic schedule, taking into account the increase in time on approaches to the limiting element. The model takes into account the peculiarities of passing the opposing train traffic and allows determining optimal way of passing high-speed and other trains through the limiting element of the route.

The calculation is provided using the model and analysis of the capacity of a limiting element of the route for various options of the high-speed trains handling organization, as well as the conditions under which the maximum capacity with the minimum number and delay time (decrease) of trains on approaches to the limiting element.

Keywords: high-speed operation; capacity; imitating modeling of train traffic; limiting element

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-1-34-43>

REFERENCES

1. UIC — International union of railways. The worldwide railway organisation [Electronic resource]. URL: <http://uic.org/> (retrieved on 17.10.2017).
2. Castillo E., Nogal M., Grande Z. An alternate double-single track proposal for high-speed peripheral railway lines. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 2015, no. 30, pp. 181–201.
3. *Instructions for calculating the available capacity of railways*. Moscow, 2011, 290 p. (in Russ.)

4. Levin D. Yu., Pavlov V. L. *Raschet i ispol'zovanie propusknoy sposobnosti zheleznikh dorog* [Calculation and use of railway capacity]. Moscow, FGOU "Educational and methodological center for education in railway transport" Publ., 2011, 364 p.

5. Levin D. Yu. *Ocheredi na zheleznoy doroge* [Queues on the railway]. World of Transport and Transportation, 2014, no. 2, pp. 132–141.

6. Kalidova A. D. *Razrabotka metoda tekhnologicheskoy otsenki protsessy propuska poezdopotokov cherez odnopushtnoe bar'ernoe mesto dvukhputnoy linii na osnove imitatsionnogo modelirovaniya* [Development of a method for technological evaluation of the process of passing train flows through a single-track barrier in a double-track line based on imitation modeling]. Transport Urala, 2017, no. 2 (53), pp. 102–108.

7. Kalidova A. D. *Analiz vozmozhnostey sovmeshcheniya skostroynogo i obychnogo dvizheniya s ispol'zovaniem sushchestvuyushchey infrastruktury* [Analysis of the possibilities of combining high-speed and conventional traffic using the existing infrastructure]. Traditsionnaya i innovatsionnaya nauka: istoriya, sovremennoe sostoyaniye, perspektivy. Sb. st. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. / pod red. A. A. Sukiasyana [Traditional and innovative science: history, current state, perspectives. Coll. of articles of the International scientific and practical conf. edited by A. A. Sukiasyan]. Ufa, 2016, Part 2, pp. 52–55.

■ E-mail: gdsu@rambler.ru (S. V. Karasev)

8. Shannon R. *System simulation — the art and science*. Moscow, MIR Publ., 1978, 420 p.

9. Kelton V., Lou A. *Imitatsionnoye modelirovaniye. Klassika CS*. 3-e izd. [Simulation modeling. Classics CS. 3rd ed.]. St. Petersburg, Piter Publ., Kyiv, BHV Publ., 2004, 847 p.

10. Karasev S. V., Kalidova A. D. *Modeling program "Barrier-1" for trains passing through a single-track barrier space of infrastructure*. Certificate on registration of electronic resource OFERNiO no. 22781 from May 23, 2017 (in Russ.).

11. *Search and compare cheap buses, trains and flights* [Electronic resource]. URL: <https://ru.goeuro.com/> (retrieved on 23.10.2017).

12. JCS "Russian railways" [Electronic resource]. URL: <http://www.rzd.ru/> (retrieved on 25.10.2017).

ABOUT THE AUTHORS

Sergey V. KARASEV,

Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Head of the Department "Railway stations and junctions", FBGOU VO SGUPS

Aleksandra D. KALIDOVA,

Post-graduate of the Department "Railway stations and junctions", FBGOU VO SGUPS

Received 03.11.2017

Revised 27.12.2017

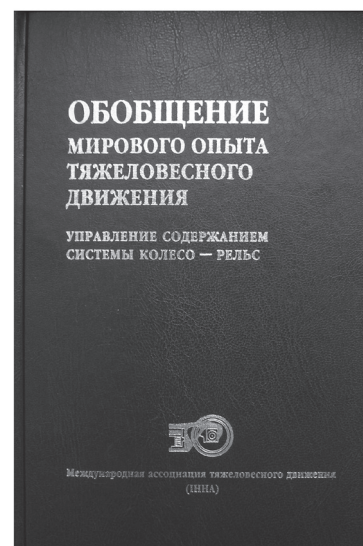
Accepted 14.01.2018

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Обобщение мирового опыта тяжеловесного движения. Управление содержанием системы колесо — рельс: пер. с англ. / под ред. С. М. Захарова. М.: Интекст, 2017. 420 с.

Вопросы содержания системы колесо — рельс, являющейся основной для железнодорожного транспорта, приобретают все большее значение по мере роста грузонапряженности, массы и длины поездов, осевых нагрузок и необходимости обеспечивать экономически оправданную эксплуатацию железнодорожных систем. Для лучшего понимания происходящих процессов в данной системе рассмотрены фундаментальные вопросы взаимодействия железнодорожного экипажа и пути, механика контактного взаимодействия колеса и рельса, виды и причины возникновения дефектов в элементах системы, применяемые материалы и перспективы их совершенствования. Описаны современные системы автоматизированного мониторинга состояния подвижного состава и пути. Большое внимание уделено используемым в разных странах подходам и технологиям текущего содержания подвижного состава и пути, обеспечивающим снижение стоимости жизненного цикла. Отдельная глава посвящена вопросам безопасности, анализу причин и способам предотвращения сходов подвижного состава. Изложен опыт железных дорог разных стран с тяжеловесным движением по выявлению проблем, способам реализации решений и достигнутым результатам. В конце книги приведен словарь используемых терминов, их эквивалентов на английском языке, определений, расшифровывающих термины.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников, занимающихся вопросами железнодорожного транспорта, и студентов, изучающих данные проблемы.



По вопросам приобретения книги обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, редакционно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (499) 260-43-20, e-mail: rio@vniizht.ru, www.vniizht.ru.