Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-5>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/12TVN515.pdf>

DOI: 10.15862/12TVN515 (<http://dx.doi.org/10.15862/12TVN515>)

УДК 625.1

Тимченко Вячеслав Сергеевич¹

ФГБУН «Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук»

Россия, Санкт-Петербург²

Младший научный сотрудник

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=719434

E-mail: tim4enko.via4eslav@mail.ru

Расчет пропускной способности двухпутного железнодорожного участка с учетом категорий грузовых поездов методом имитационного моделирования процессов перевозок

¹ <https://scholar.google.ru/citations?user=eZajP6AAAAAJ&hl=ru>

² ИПТ РАН, 199178, г. СПб, 12-я линия ВО, д. 13, 4 этаж

Аннотация. Техническое состояние сети железных дорог Российской Федерации оказалось не в состоянии освоить существующие, а тем более перспективные объемы перевозок, что вызывает необходимость проведения дорогостоящих реконструктивных мероприятий.

Для экономии инвестиций необходимы методы определения достаточности реконструкционных мероприятий по устранению «узких места», ограничивающих пропускную способность железнодорожных направлений.

Пропускная способность железнодорожных участков по действующим методикам определяется в одинаковых по массе и длине расчетных грузовых поездах по ограничивающим перегонам. Это исключает возможность определить пропускную и провозную способности железнодорожной линии в условиях обращения грузовых поездов, масса которых колеблется в широком диапазоне, влияя на времена хода поездов по участку. Разные времена хода грузовых поездов по железнодорожному участку приводят к необходимости обгона грузового поезда тихохода грузовым поездом скороходом, что снижает пропускную способность железнодорожных участков.

Для решения этой задачи предлагается использовать метод имитационного моделирования процессов железнодорожных перевозок, созданного и развиваемого содружеством ученых академической, отраслевой и вузовской науки, который на основании предложенного алгоритма позволяет учитывать соотношение категорий грузовых поездов (грузовых поездов с разным временем хода по моделируемому участку).

Ключевые слова: железнодорожная инфраструктура; реконструкция инфраструктуры; организация движения; график движения поездов; железнодорожный участок; пропускная способность; провозная способность; масса нетто поезда; категории грузовых поездов; имитационное моделирование.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Тимченко В.С. Расчет пропускной способности двухпутного железнодорожного участка с учетом категорий грузовых поездов методом имитационного моделирования процессов перевозок // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/12TVN515.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/12TVN515

Железнодорожный транспорт является неотъемлемой частью транспортной системы страны, которая на сегодняшний момент нуждается в модернизации для обеспечения потребностей в пассажирских и грузовых перевозках. Рост грузопотоков привел к появлению «узких мест», ограничивающих пропускную и провозную способности железнодорожных направлений.

Важной проблемой, возникающей при необходимости освоения возрастающих объемов перевозок, является своевременное развитие железнодорожной инфраструктуры. Необходимость больших объемов длительно окупаемых капитальных вложений ставит задачу количественного обоснования достаточности предлагаемых технических и технологических решений при минимально возможных затратах. Проблема решается на основе определения потребной пропускной способности и сравнения ее с наличной при различных вариантах реконструкции инфраструктуры и организации перевозок.

Пропускная способность железнодорожных участков по действующим методикам определяется в одинаковых по массе и длине расчетных грузовых поездах по ограничивающим перегонам. Это исключает возможность определить пропускную и провозную способности железнодорожной линии в условиях обращения грузовых поездов, масса которых колеблется в широком диапазоне (таблица 1). Из таблицы 1 видно, что масса состава грузового поезда может находиться в широком диапазоне – от 969 т до 8096 т.

Таблица 1

Масса состава поезда в зависимости от рода перевозимого груза (составлено авторами)

№ п/п	Род груза	Тип подвижного состава	Вместимость вагона, т.	Вес вагона, т.	Условная длина вагона	Количество условных вагонов	Количество физических вагонов	Масса состава, т.
1	Нефтегрузы	Цистерны восьмиосные	125	51	1,52	71	46	8096
2	Нефтегрузы	Цистерны четырехосные	65	25	0,86	71	82	7380
3	Удобрения	Минераловозы	69,5	24,5	0,95	71	74	6623
4	Руда	Полувагоны	69,5	24,5	1	71	71	6674
5	Сера	Полувагоны	68,5	24,5	1	71	71	6603
6	Уголь	Полувагоны	69	24,5	1	71	71	6639
7	Зерно	Хопперы	65	22	0,95	71	74	6438
8	Лес (доски)	Полувагоны	62	24,5	1	71	71	6142
9	Металл	Полувагоны	51	24,5	1	71	71	5361
10	Расчетный поезд	Смешанный	-	-	-	71	-	4300
11	Контейнерные	Контейнеры	68,5	25,5	1,85	71	38	3572
12	Порожний	Полувагоны	0	24,5	1	71	71	1740
13	Порожний	Платформы	0	25,5	1,85	71	38	969

Аналитические формулы расчета пропускной способности [1] дают удовлетворительное совпадение с результатами математической обработки статистических данных только при невысокой загрузке железнодорожной линии.

Д.Ю. Левиным установлено [2], что причинами отклонения реальной пропускной способности железнодорожного участка от теоретической являются использование

постоянных величин в расчетной формуле определения пропускной способности и отсутствие учета характеристик потока поездов.

Разные времена хода грузовых поездов приводят к необходимости обгона поезда тихохода поездом скороходом на промежуточных станциях, что снижает пропускную способность железнодорожных участков. Расчетное количество обгонов грузовых поездов согласно Инструкции [3] определяется по формуле:

$$n_p = \frac{t_{cp}(1-\Delta)}{J_p} + 1,$$

где t_{cp} – время хода грузового поезда с большей скоростью;

Δ – соотношение скоростей движения грузового поезда с меньшей скоростью и грузового поезда с большей скоростью;

J_p – расчетный межпоездной интервал между поездами попутного направления (10 мин).

Расчет пропускной способности с учетом категорий грузовых поездов предлагается выполнять с помощью программного комплекса имитационного моделирования процессов железнодорожных перевозок, созданного и развиваемого сообществом ученых академической (ИПТ РАН), отраслевой (ИЭРТ, ВНЕШВУЗЦЕНТР) и вузовской (ПГУПС) науки.

Метод имитационного моделирования процессов железнодорожных перевозок [4-10] позволяет оценивать пропускную способность с учетом различных вариантов реконструкции инфраструктуры и организации движения, количества и полезной длины станционных путей, неравномерности движения, ограничений системы энергоснабжения при электротяге, наличия предупреждений об изменениях установленной скорости, а также предоставления «окон» для ремонтов инфраструктуры [11].

В результате имитационного моделирования строятся графики движения поездов, по которым определяется наличная пропускная способность моделируемого железнодорожного участка в зависимости от задаваемых условий организации движения (рис. 1) и категорий грузовых поездов, которые изображаются разными цветами.

Рис. 1. Фрагмент графика движения поездов, полученный методом имитационного моделирования (разработано авторами)

В имитационной модели пассажирские и пригородные поезда пропускаются по расписанию, а для грузовых поездов используется следующая организация пропуска.

Первоначально пропускаются поезда из группы, обладающей максимальным приоритетом ($\alpha_{\text{pr}1j}$). При достижении равенства оставшегося их количества с поездами из следующей группы ($\alpha_{\text{pr}2j}$) поезда случайным образом выбираются из обеих групп. После достижения равенства их количеств в обеих группах с количеством поездов в следующей группе ($\alpha_{\text{pr}3j}$) выбор происходит из трех групп и так далее до последнего поезда в группе с минимальным приоритетом ($\alpha_{\text{pr}kj}$) или до отсутствия возможности пропуска еще одного поезда из оставшихся. Такой подход обеспечивает определение наличной пропускной способности железнодорожных направлений и соответствующей ей провозной способности

по всем категориям грузовым поездов для рассматриваемых вариантов реконструкции железнодорожного направления и организации перевозок.

Блок-схема алгоритма пропуска грузовых поездов по категориям представлена на рис. 2.

Рис. 2. Блок-схема алгоритма пропуска грузовых поездов по категориям (разработано авторами)

В соответствии с правилами тяговых расчетов линия хода поезда на графике движения (нитка графика) строится для центра тяжести (ЦТ) поезда.

Алгоритм функционирования карты состояний [12] модуля имитационного моделирования процессов железнодорожных перевозок включает взаимодействие моделируемого графика движения поездов с диаграммой расположения изолированных участков, занятие и освобождение которых определяют передаваемые в них коды локомотивной сигнализации и показания светофоров. Карта состояний позволяет имитировать временные параметры движения поездов при их сближении, учитывая показания светофоров.

Установим влияние категорий грузовых поездов на пропускную способность двухпутного железнодорожного участка.

Состояние инфраструктуры и организация движения моделируемого железнодорожного участка: двухпутный участок длиной 204 км, оборудован трехзначной АБ, профиль участка для тяговых расчетов принят по данным одного из железнодорожных участков Октябрьской железной дороги, промежуточные станции имеют по два приемоотправочных пути для обгона поездов, на участке обращаются только грузовые поезда.

Варианты расчетов:

1. Тепловозная тяга на всем участке (2ТЭ116).
2. Электровозная тяга на всем участке (ВЛ10 и ВЛ15).

Для сокращения количества расчетов определим перегонные времена хода по моделируемому участку с помощью системы ИСКРА-ОТР [13] для 1, 2, 6, 10 и 13 категории грузовых поездов (табл. 1), которые отражают изменение массы на рассматриваемом железнодорожном участке (табл. 2-3).

Таблица 2

Результаты расчетов перегонных времен хода для моделируемого участка при тепловозной тяге (составлено авторами)

№ п/ п	Название станции	Времена хода, мин									
		1 категория		2 категория		3 категория		4 категория		5 категория	
		Нечетное направление	Четное направление	Нечетное направление	Четное направление	Нечетное направление	Четное направление	Нечетное направление	Четное направление	Нечетное направление	Четное направление
1	А		9		9		9		9		9
2	Б	14	14	13	14	13	14	11	13	10	13
3	В	11	17	11	17	10	17	8	16	8	15
4	Г	19	11	18	10	17	10	17	10	16	10
5	Д	11	13	11	13	11	13	11	13	10	13
6	Е	13	16	12	16	12	15	11	14	11	13
7	Ж	16	10	15	10	14	10	11	10	10	9
8	З	13	13	13	13	13	13	12	12	12	12
9	И	9	15	8	15	8	15	7	14	5	13
10	К	21	10	18	10	16	10	12	10	9	9
11	Л	9	12	8	11	8	11	7	10	7	9
12	М	8	14	8	14	7	14	7	13	7	11
13	Н	9	19	9	18	9	17	9	15	9	13
14	О	10	27	10	25	10	23	10	19	10	15
15	П	13	10	13	10	13	10	13	11	13	10
16	Р	14	9	14	9	13	9	12	9	12	9
17	С	11	4	11	4	11	4	11	4	11	4
18	Т	7	11	7	11	7	11	7	16	7	11
29	У	5		5		5		5		5	
ИТОГО		213	234	204	229	197	225	181	217	172	198

Таблица 3

Результаты расчетов перегонных времен хода для моделируемого участка при электровозной тяге (составлено авторами)

№ п/п	Название станции	Времена хода, мин									
		1 категория		2 категория		3 категория		4 категория		5 категория	
		Нечетное направление	Четное направление	Нечетное направление	Четное направление	Нечетное направление	Четное направление	Нечетное направление	Четное направление	Нечетное направление	Четное направление
1	А		9		9		9		9		9
2	Б	11	8	11	8	11	8	10	8	9	8
3	В	8	16	8	16	8	16	8	16	8	15
4	Г	16	10	16	10	16	10	16	10	16	10
5	Д	11	13	10	13	11	13	10	13	10	13
6	Е	11	14	11	14	11	14	11	14	11	14
7	Ж	11	14	11	14	11	14	10	14	10	13
8	З	12	8	11	8	12	8	11	8	12	8
9	И	6	14	6	14	7	14	6	14	5	14
10	К	10	9	10	9	11	9	10	9	9	9
11	Л	7	10	7	10	7	10	7	10	7	10
12	М	7	12	7	12	7	12	7	12	7	12
13	Н	9	15	9	14	9	14	9	14	9	13
14	О	10	19	10	18	10	17	10	17	10	15
15	П	13	11	13	11	13	11	13	11	13	11
16	Р	12	9	12	9	12	9	12	9	12	9
17	С	11	4	11	4	11	4	11	4	11	4
18	Т	7	11	7	11	7	11	7	11	7	11
29	У	5		5		5		5		5	
ИТОГО		177	206	175	204	179	203	173	203	171	198

Как видно из табл. 2 и 3, максимальные разницы во временах хода при тепловозной тяге для нечетного и четного направлений составляют соответственно 41 и 36 мин, а для электровозной тяги – по 8 мин. Следовательно масса поезда будет сильнее влиять на время хода грузовых поездов по моделируемому участку при тепловозной тяге.

Результаты расчетов пропускной способности моделируемого железнодорожного участка при различных соотношений категорий грузовых поездов представлены в табл. 4-5.

Таблица 4

**Результаты расчетов пропускной способности моделируемого железнодорожного участка при различных соотношениях категорий грузовых поездов (тепловозная тяга)
(составлено авторами)**

№ п/п	Соотношение категорий грузовых поездов, %					Пропускная способность, пар поездов
	1	2	3	4	5	
1	20	20	20	20	20	106
2				50	50	121
3			50	50		100
4		50		50		105
5	50			50		106
6	33			33	33	97
7				100		132

Таблица 5

**Результаты расчетов пропускной способности моделируемого железнодорожного участка при различных соотношениях категорий грузовых поездов (электровозная тяга)
(составлено авторами)**

№ п/п	Соотношение категорий грузовых поездов, %					Пропускная способность, пар поездов
	1	2	3	4	5	
1	20	20	20	20	20	126
2				50	50	129
3			50	50		124
4		50		50		124
5	50			50		122
6	33			33	33	125
7				100		132

Из табл. 4 и 5 видно, что масса поездов в большей степени влияет на пропускную способность железнодорожного участка при тепловозной тяге, так разница 6 и 7 вариантами расчета составляет 35 пар поездов, а при электровозной тяге – 10 пар поездов.

Приведенные результаты расчетов выполненные с помощью программного комплекса имитационного моделирования процессов железнодорожных перевозок показывают, что соотношение категорий грузовых поездов с разной массой влияют на пропускную способность моделируемого железнодорожного участка.

Применение программного комплекса имитационного моделирования при оценке пропускной способности строящихся и реконструируемых железнодорожных линий позволит точнее оценить их пропускную способность в условиях обращения заданного процентного соотношения категорий грузовых поездов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левин, Д.Ю. Перевозочные возможности железнодорожного транспорта / Д.Ю. Левин // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте ИСУЖТ-2012: сборник докладов второй научно-технической конференции (НИИАС). – М.: 2012. – С. 76-79.
2. Левин, Д.Ю. Расчет пропускной способности участка / Д.Ю. Левин // Железнодорожный транспорт. – 2008. – №7. – С. 18-23.
3. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог, утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 16.11.2010 №128, 305 с.
4. Кокурин И.М., Миняев С.Е. Оценка технико-экономической эффективности вариантов реконструкции железнодорожной сети на основе имитационного моделирования // Транспорт. Наука, техника, управление. – 2004. - №6. - С. 20 – 26.
5. Кокурин И.М., Кудрявцев В.А. Оценка пропускной способности железнодорожных линий на основе имитационного моделирования процессов перевозок // Известия Петербургского университета путей сообщения. Вып.2 (31), 2012. - С. 18-22.
6. Кокурин И.М., Белозеров В.Л. Комплекс методов мониторинга продвижения поездов и имитационного моделирования процессов перевозок. // Известия Петербургского университета путей сообщения. Вып.2 (31), 2012. - С. 27-31.
7. Кокурин И.М. Оценка пропускной способности железнодорожных линий методом имитационного моделирования. - Актуальные проблемы управления перевозочным процессом. Сборник трудов Вып.8 / Под ред. д-ра техн. наук Ю.И. Ефименко - СПб ПГУПС, 2009, с. 18-28.
8. Кокурин И.М., Тимченко В.С. Оценка методом имитационного моделирования возможности освоения прогнозируемых объемов перевозок грузов по железнодорожной линии, обслуживающей морской порт // Вестник транспорта Поволжья. – 2014. – №6. – С. 39-44.
9. Тимченко В.С. Алгоритмизация процессов оценки пропускной способности железнодорожных участков в условиях предоставления окон // Транспорт Российской Федерации. – 2013. – №5 (48). – С. 34 – 37.
10. Кокурин И.М., Тимченко В.С. Методы определения «узких мест», ограничивающих пропускную способность железнодорожных направлений // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2013. – №1. – С. 15 – 22.
11. Тимченко В.С. Алгоритмы расчета графиков проведения ремонтных работ железнодорожного пути на перспективу [Электронный ресурс] // Интернет-журнал «Наукоедение». - М.: Наукоедение, 2014. - №3 (22). -Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/06TVN314.pdf>, свободный. - Загл. с экрана. - Яз. рус., англ.
12. Тимченко В.С. Моделирование условий пропуска поездов в программном комплексе имитационного моделирования процессов перевозок // Молодой ученый. - 2015. - №8. - С. 316-319.
13. Анисимов В.А., Анисимов В.В. Многоцелевые расчетно-аналитические комплексы ИСКРА и ЭРА: комплексное решение проектных и производственных задач // Транспортная инфраструктура сибирского региона. – 2013. – №1. – С. 540-547.

Рецензент: Таранцев Александр Алексеевич, д.т.н., профессор, заведующий лаборатории «Проблем развития транспортных систем и технологий», «Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН».

Timchenko Vyacheslav Sergeevich

Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences

Russia, St. Petersburg

E-mail: tim4enko.via4eslav@mail.ru

Capacity calculation of a two-acceptable railway site taking into account cargo trains categories by imitating modeling method of transportations processes

Abstract. Technical condition of the railroads network of the Russian Federation wasn't able to master existing, and furthermore perspective volumes of transportations that causes the necessity of carrying out expensive reconstructive actions.

Methods of sufficiency determination of the reconstruction actions for elimination of "bottleneck" limiting the capacity of the railway directions are necessary for investments economy.

Capacity of railway sites by the operating techniques is determined in settlement cargo trains, identical on weight and length, by the limiting stages. It excludes opportunity to define throughput and carrying abilities of a railway line in the conditions of the address of cargo trains which weight fluctuates in the wide range, course influencing times of trains on a site. Different times of the course of cargo trains on a railway site result in need of cargo train overtaking of a slow mover by the cargo train by the fast walker that reduces the railway sites capacity.

For the solution of this task it is offered to use a method of processes imitating modeling of rail transportation created and developed by the commonwealth of academic scientists, branch and high school science which on the basis of the offered algorithm allows to consider a categories ratio of cargo trains (cargo trains with different time of the course on the modelled site).

Keywords: railway infrastructure; reconstruction of infrastructure; organization of the movement; train schedule; railway site; capacity; carrying ability; net weight of the train; category of cargo trains; imitating modeling.

REFERENCES

1. Levin, D.Yu. Perevozochnye vozmozhnosti zheleznodorozhnogo transporta / D.Yu. Levin // *Intellectual'nye sistemy upravleniya na zheleznodorozhnom transporte ISUZhT-2012: sbornik dokladov vtoroy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (NIAS)*. – M.: 2012. – S. 76-79.
2. Levin, D.Yu. Raschet propusknoy sposobnosti uchastka / D.Yu. Levin // *Zheleznodorozhnyy transport*. – 2008. – №7. – S. 18-23.
3. Instruksiya po raschetu nalichnoy propusknoy sposobnosti zheleznykh dorog, utverzhdena rasporyazheniem OAO «RZhD» ot 16.11.2010 №128, 305 s.
4. Kokurin I.M., Minyaev S.E. Otsenka tekhniko-ekonomicheskoy effektivnosti variantov rekonstruktsii zheleznodorozhnoy seti na osnove imitatsionnogo modelirovaniya // *Transport. Nauka, tekhnika, upravlenie*. – 2004. - №6. - S. 20 – 26.
5. Kokurin I.M., Kudryavtsev V.A. Otsenka propusknoy sposobnosti zheleznodorozhnykh liniy na osnove imitatsionnogo modelirovaniya protsessov perevozok // *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya*. Vyp.2 (31), 2012. - S. 18-22.
6. Kokurin I.M., Belozerov V.L. Kompleks metodov monitoringa prodvizheniya poezdov i imitatsionnogo modelirovaniya protsessov perevozok. // *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya*. Vyp.2 (31), 2012. - S. 27-31.
7. Kokurin I.M. Otsenka propusknoy sposobnosti zheleznodorozhnykh liniy metodom imitatsionnogo modelirovaniya. - Aktual'nye problemy upravleniya perevozochnym protsessom. Sbor-nik trudov Vyp.8 / Pod red. d-ra tekhn. nauk Yu.I. Efimenko - SPB PGUPS, 2009, s. 18-28.
8. Kokurin I.M., Timchenko V.S. Otsenka metodom imitatsionnogo modelirovaniya vozmozhnosti osvoeniya prognozirovemykh ob'emov perevozok грузов po zheleznodorozhnoy linii, obsluzhivayushchey morskoy port // *Vestnik transporta Povolzh'ya*. – 2014. – №6. – S. 39-44.
9. Timchenko V.S. Algoritmizatsiya protsessov otsenki propusknoy sposobnosti zheleznodorozhnykh uchastkov v usloviyakh predostavleniya okon // *Transport Rossiyskoy Federatsii*. – 2013. – №5 (48). – S. 34 – 37.
10. Kokurin I.M., Timchenko V.S. Metody opredeleniya «uzkikh mest», ogranichivayushchikh propusknuyu sposobnost' zheleznodorozhnykh napravleniy // *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya*. – 2013. – №1. – S. 15 – 22.
11. Timchenko V.S. Algoritmy rascheta grafikov provedeniya remontnykh rabot zheleznodorozhnogo puti na perspektivu [Elektronnyy resurs] // *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*. - M.: Naukovedenie, 2014. - №3 (22). -Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/06TVN314.pdf>, svobodnyy. - Zagl. s ekrana. - Yaz. rus., angl.
12. Timchenko V.S. Modelirovanie usloviy propuska poezdov v programmnom komplekse imitatsionnogo modelirovaniya protsessov perevozok // *Molodoy uchenyy*. - 2015. - №8. - S. 316-319.
13. Anisimov V.A., Anisimov V.V. Mnogotselevye raschetno-analiticheskie komplekсы ISKRA i ERA: kompleksnoe reshenie proektnykh i proizvodstvennykh zadach // *Transportnaya infrastruktura sibirskogo regiona*. – 2013. – №1. – S. 540-547.