

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ «ОКНА» МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Доктор технических наук, профессор **Таранцев А.А., Тимченко В.С.**  
(Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук)

### OPTIMUM DETERMINATION OF DURATION OF BREAKS IN RAIL TRANSPORTATION BY SIMULATION

Doctor (Tech.), Professor **Tarantsev A.A., Timchenko V.S.**  
(Institute of Transport Problems named after N.S. Solomenko of RAS)

*Ремонт железнодорожного пути, оптимальная продолжительность «окон», имитационное моделирование, моделируемый железнодорожный участок.*

*Railway track repair, optimum duration of breaks in train service, imitating modeling, the modelled railway site.*

*Рассматривается актуальная проблема определения оптимальной продолжительности «окна» для всех перегонов моделируемого железнодорожного участка с интенсивным движением поездов методом имитационного моделирования процессов железнодорожных перевозок по критерию минимальных затрат на проведение ремонтных работ и потерь от задержек поездов. Установлено, что при возможности отклонения на параллельные направления ограниченного количества поездов, оптимальная продолжительность «окна» снижается.*

*The actual problem determination of breaks optimum duration in train service for all stages of the modelled railway site with heavy traffic by imitating rail transportation processes modeling method by the minimum costs criterion of carrying out repair work and losses from trains delays is considered. It is established that at deviation possibility on the parallel directions of trains limited number, the breaks optimum duration in train service decreases.*

Ремонтно-строительные работы являются неотъемлемой частью работы железнодорожного транспорта по обеспечению безопасности следования грузовых и пассажирских поездов с установленными скоростями [1].

Наибольшее количество «окон» предоставляется путевому хозяйству железных дорог [2], поскольку эти сложные по технологии и продолжительные работы, выполняются комплексом путевых машин и хозяйственных поездов. Работы на других объектах инфраструктуры, в основном, выполняются во время длительных «окон», предоставляемых для путевых работ, а также во время технологических «окон», предусмотряемых нормативными графиками движения поездов.

В 2015 г. Центральной дирекцией по ремонту пути реконструировано 2814 км железнодорожного пути [3], а в 2016 г. планируется произвести все виды ремонта на 4365,8 км пути.

По данным управления пути и сооружений Центральной дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД» в компании в течение 2014–2015 гг. активно применяется новый принцип комплексного ремонта пути [4] – на основании технологии закрытого перегона. Кроме того, ремонт пути постепенно становится круглогодичной, а не только весенне-летней операцией и заменяет технологию ремонта на основе предоставления «окна». Данная мера особенно актуальна на участках с низкой интенсивностью движения поездов, о чём свидетельствует опыт Северо-Западного полигона компании.

Выбор варианта проведения ремонтных работ связан с уровнем использования пропускной способности и наличием параллельных железнодорожных линий. Ос-

новным критерием при определении оптимальной продолжительности «окна» являются минимальные затраты на проведение ремонтных работ и потерь от задержек поездов.

Наибольшая производительность ремонтных работ достигается на закрытом перегоне, а наименьшая – в условиях предоставления «окон» продолжительностью 8 ч. Это связано с тем, что с увеличением продолжительности «окна» снижаются потери времени и энергии на доставку путевых машин к месту работ и обратно, развертывание и свертывание работ, что обеспечивает их более высокую производительность.

В мировой практике [5-8] моделирование является основным методом исследований во всех областях знаний и научно обоснованным методом оценки характеристик сложных систем.

Задача количественной оценки возможностей пропуска перспективных объемов грузопотоков по железнодорожным направлениям при сравнимых вариантах развития инфраструктуры на длительную перспективу 5, 10 и более лет успешно решается на основе метода имитационного моделирования процессов перевозок [9-11], разработанного и развиваемого сотрудничеством ученых академической (ИПТ РАН), отраслевой (Институт экономики и развития транспорта, Научно-методический, учебный и коммерческий центр - ВНЕШВУЗЦЕНТР) и вузовской науки (Петербургский государственный университет путей сообщения).

Установлено, что после введения новых Технических условий на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути [12] взамен ранее

действовавших ЦПТ-53 (Технические условия на работы по ремонту и планово-предупредительной выправке пути), а также практики проведения ремонтных работ железнодорожного пути с использованием «совмещенных окон», модуль планирования ремонтных работ (МППР) [13-14] программного комплекса имитационного моделирования процессов железнодорожных перевозок нуждается во вводе информации о новых нормах и алгоритмов определения возможности совмещения работ по ремонту железнодорожного пути.

Подробный авторский анализ технологии разработки графиков модернизации железнодорожного пути представлен в работе [15], а разработанная на его основе блок-схема алгоритма определения параметров «окон» с учетом совмещения ремонтных работ по модернизации железнодорожного пути представляет основные блоки и переходы, зависящие от логических условий, представлена на рис. 1.

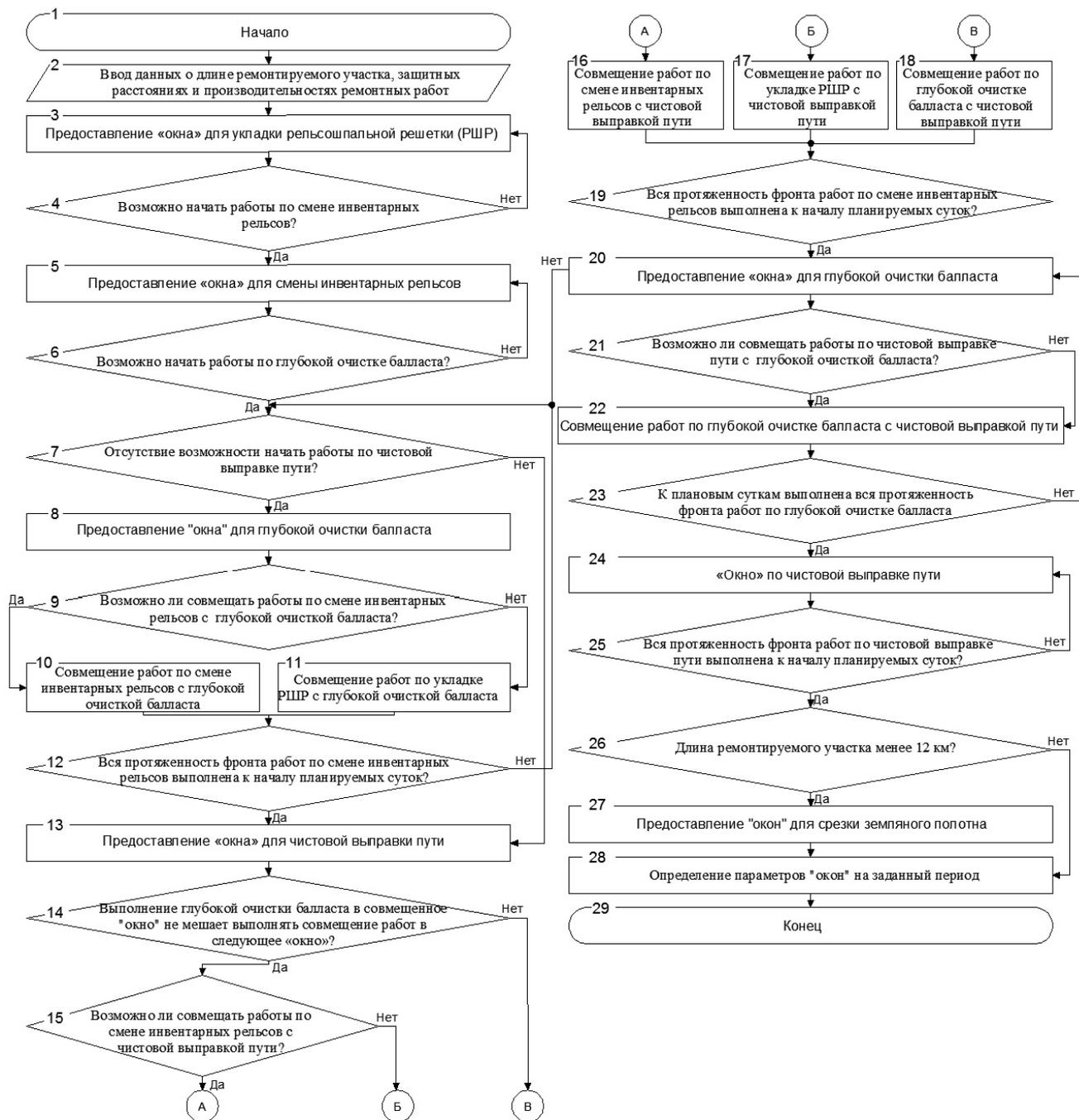


Рис. 1. Блок-схема алгоритма определения параметров «окон» с учетом совмещения ремонтных работ по модернизации железнодорожного пути

Фрагмент графика предоставления «окон», длительностью 8 ч, для модернизации железнодорожного пути, разработанного на основании алгоритма (см. рис. 1) представлен на рис. 2.

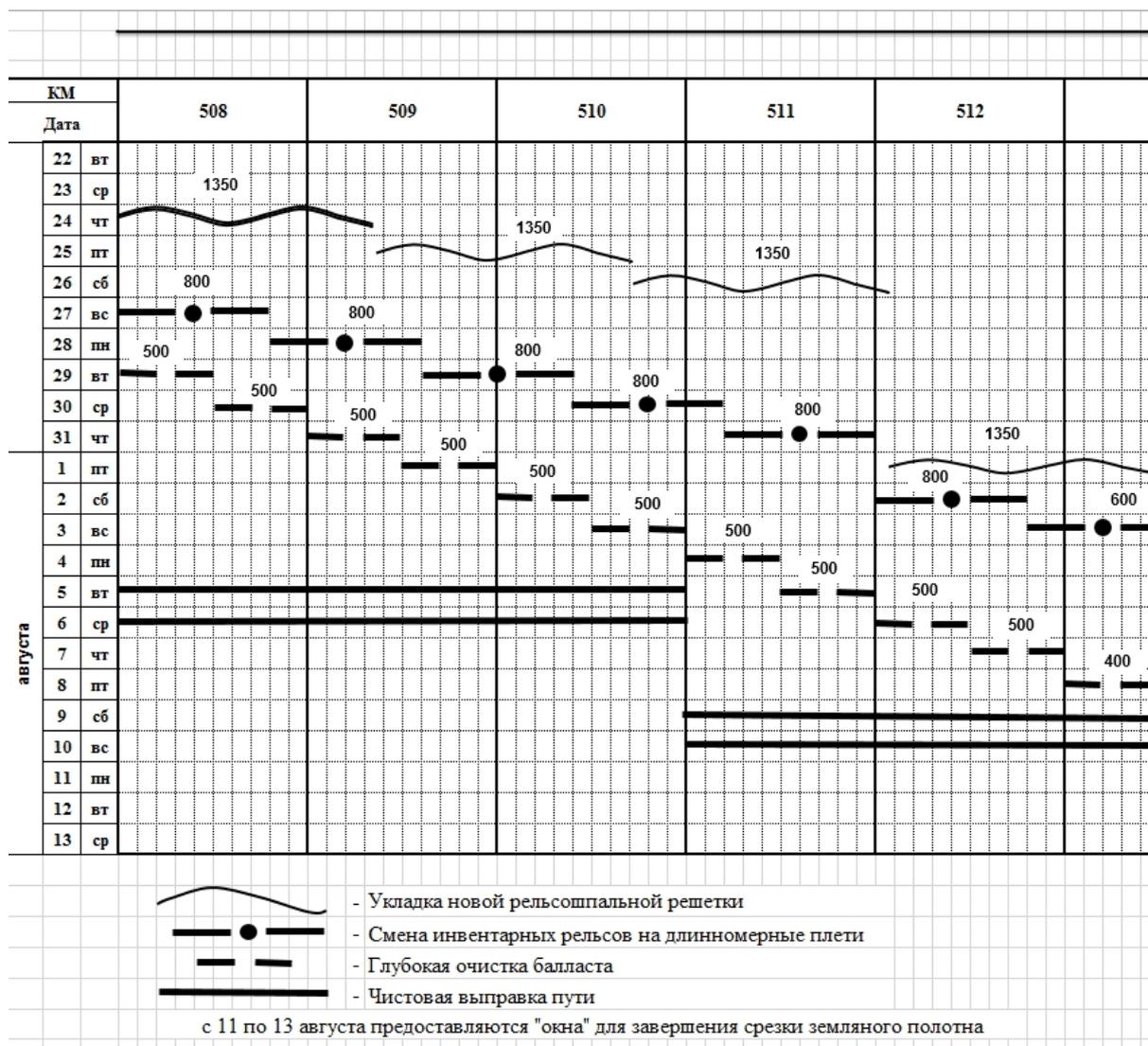


Рис. 2. График проведения модернизации железнодорожного пути с предоставлением восьмичасовых «окон»

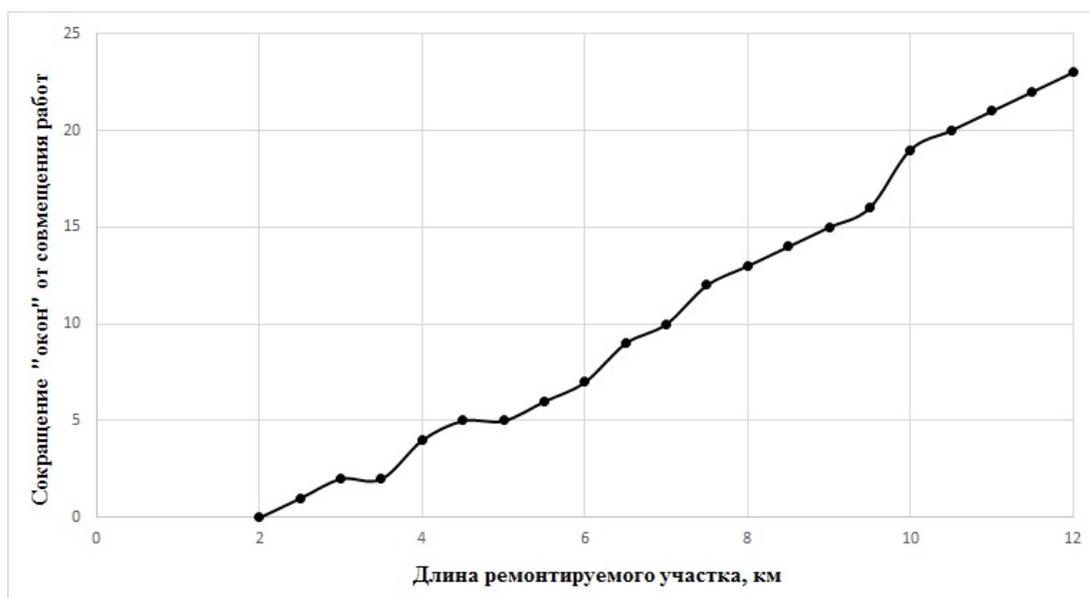


Рис. 3. Сокращение количества восьмичасовых «окон» в зависимости от длины ремонтируемого участка для рассматриваемых производительностей ремонтных работ

Алгоритм определения параметров «окон» по модернизации железнодорожного пути позволяет рассчитать параметры «окон» с учетом совмещения ремонтных работ. Он предлагается в качестве основы для модернизации модуля МПРР программного комплекса имитационного моделирования процессов железнодорожных перевозок, который в настоящий момент не учитывает совмещение ремонтных работ.

Анализ графиков модернизации железнодорожного пути показывает сокращение количества восьмичасовых «окон» в зависимости от длины ремонтируемого участка (рис. 3) для рассматриваемых производительностей ремонтных работ.

Проверка предлагаемого алгоритма модернизации модуля МПРР показала, что количество «окон», сокращаемых за счет совмещения работ на участке длиной 3 км, составляет 2 «окна», а на участке длиной 12 км – 23 «окна», что обуславливает увеличение эффективности выполнения работ с ростом длины ремонтируемого участка.

Методом имитационного моделирования процессов железнодорожных перевозок получены суммарные задержки поездо-часов в обоих направлениях на участке А-Е, оборудованном трехзначной автоблокировкой, на промежуточных станциях которого имеется по два приемо-отправочных пути, а на технических станциях

А и Е – по семь. На технической станции Е происходит смена локомотивных бригад длительностью 40 мин.

План и профиль железнодорожного пути для тяговых расчетов приняты по данным одного из железнодорожных участков Октябрьской железной дороги для которых с помощью системы тяговых расчетов ИСКРА-ОТР [16] определены перегонные времена хода (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики рассматриваемого железнодорожного участка

Название перегона	Длина перегона, км	Время хода нечетного грузового поезда, мин.	Время хода четного грузового поезда, мин.
А-б	9,4	10	9
б-в	9,1	8	8
в-г	14,6	16	16
г-д	11,8	10	14
д-Е	4,0	5	10

Расчеты проводились в условиях пропуска 60 пар грузовых, 20 пар пассажирских поездов и различных продолжительностях «окон» (рис. 4).

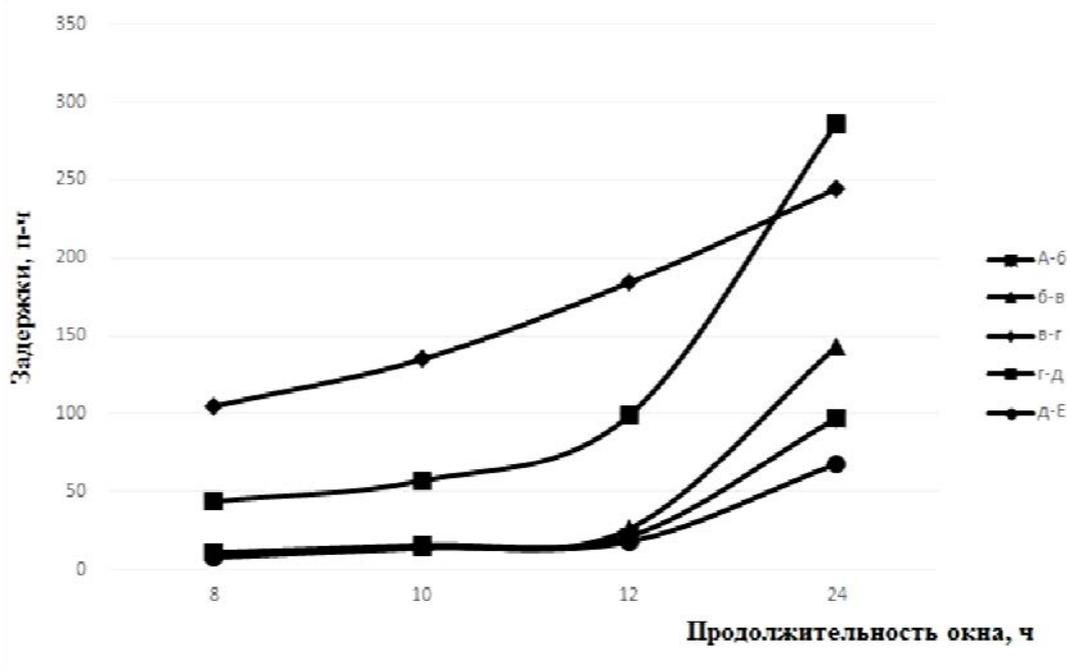


Рис. 4. Суммарные задержки поездов в обоих направлениях на моделируемом участке

Экономически обоснованные продолжительности «окон», определяются по минимуму суммарных затрат, понесенных перевозчиком и владельцем инфраструктуры в период предоставления «окна» с учетом возможности отклонения части поездопотока на параллельные линии.

Сокращение задержек поездов на перегоне в-г по сравнению с перегонем г-д связано с тем, что с увеличением длины перегона большая часть поездов отклоняется на параллельное направление, что приводит к снижению суммарных задержек поездов.

Затраты от задержек грузовых поездов ( $C_3$ ) определяются по формуле:

$$C_3 = c_{3z} T_3 n_{ок},$$

где  $c_{3z}$  – стоимость поездо-часа простоя для собственных и арендованных вагонов при электротяге в ценах 2014 г. (1573,23 руб);

$T_3$  – задержки грузовых поездов из-за «окон», поездо-ч;

$n_{ок}$  – количество «окон» ремонта рассматриваемого участка.

**Стоимость проведения «окна» при модернизации железнодорожного пути**

Продолжительность «окна», ч	$C_{ок}$ , млн. руб.
8	1,978
10	1,98
12	1,983
Закрытие перегона (24)	4,17

В случае отсутствия возможности пропустить весь поездопоток по ремонтируемому участку, учитывая временное движение по одному пути двухпутного перегона, часть поездов направляется в обход места производства работ в случае наличия параллельной линии.

Дополнительные поездо-часы движения грузового поезда, при следовании «кружностью»  $\Delta t$  будут равны:

$$\Delta t = t_1 - t_2,$$

где  $t_1$  – время следования грузового поезда по основному маршруту, км;

$t_2$  – время следования грузового поезда «кружностью», км.

В рассматриваемом примере  $\Delta t = 14$  ч.

Затраты от пропуска поездов «кружностью» составят:

$$C_{\kappa} = \Delta t n_{ок} (c_{зз} N_{\kappa з} + c_{зн} N_{\kappa н}),$$

$N_{\kappa з}$  – количество грузовых поездов, следующих «кружностью»;

$N_{\kappa н}$  – количество пассажирских поездов, следующих «кружностью»;

$c_{зн}$  – стоимость поездо-часа простоя пассажирского поезда от предоставления «окон»;

Затраты на выполнение ремонтных работ определяются по формуле:

$$C_{ок} = c_{ок} n_{ок},$$

где  $C_{ок}$  – стоимость «окна» заданной продолжительности, руб.

Стоимости проведения «окна» заданной продолжительности (табл. 2) были получены на основании анализа сметной стоимости ремонта реальных железнодорожных участков, выполненных в «Путьрем» Октябрьской дирекции по ремонту пути в 2015 г. Расходная ставка не учитывала стоимость материалов для проведения ремонта железнодорожного пути, поскольку она изменяется в широком диапазоне, в зависимости от места проведения ремонтных работ, что вызвано разными поставщиками и стоимостью доставки материалов к месту работ. Железнодорожные участки, для которых рассчитывалась расходная ставка, находились в одном регионе, что исключило влияние различий в заработной плате рабочих на стоимость проведения ремонтных работ (северные надбавки и т.д.). Расчет оптимальной продолжительности «окон» представлен в табл. 3.

Таблица 3

**Расчет оптимальной продолжительности «окон» при пропуске 60 пар грузовых и 20 пар пассажирских поездов**

Название перегона	Длина перегона, км	Продолжительность «окна», ч	Количество «окон»	Суммарные задержки в обоих направлениях, час	Количество поездов пропущенных кружностью	Стоимость задержек поездов, млн. руб	Стоимость пропуска поездов кружностью, млн. руб	Стоимость проведения ремонтных работ, млн. руб	Общая стоимость проведения ремонтных работ, млн. руб
А-б	9,4	8	27	11	0	0,47	0,00	53,41	53,88
А-б	9,4	10	20	16	0	0,50	0,00	39,60	40,10
А-б	9,4	12	17	21	0	0,56	0,00	33,71	34,27
А-б	9,4	24	7,6	97	2	1,16	0,33	31,69	33,18
б-в	9,1	8	26	11	0	0,45	0,00	51,43	51,88
б-в	9,1	10	18	14	0	0,40	0,00	35,64	36,04
б-в	9,1	12	15	26	0	0,61	0,00	29,75	30,36
б-в	9,1	24	7,3	142	13	1,63	2,09	30,44	34,16
в-г	14,6	8	69	105	0	11,40	0,00	136,48	147,88
в-г	14,6	10	55	135	1	11,68	1,21	108,90	121,79
в-г	14,6	12	45	184	8	13,03	7,93	89,24	110,20
в-г	14,6	24	11,7	245	61	4,51	15,72	48,79	69,02
г-д	11,8	8	55	44	0	3,81	0,00	108,79	112,60
г-д	11,8	10	47	57	0	4,21	0,00	93,06	97,27
г-д	11,8	12	38	99	0	5,92	0,00	75,35	81,27
г-д	11,8	24	9,5	286	30	4,27	6,28	39,62	50,17
д-Е	4	8	14	8	0	0,18	0,00	27,69	27,87
д-Е	4	10	12	14	0	0,26	0,00	23,76	24,02
д-Е	4	12	10	18	0	0,28	0,00	19,83	20,11
д-Е	4	24	3,2	68	2	0,34	0,14	13,34	13,82

В таблице 3 выделены оптимальные продолжительности «окон».

В случае если на параллельное железнодорожное направление можно отклонить только 10 поездов в сутки, оптимальная продолжительность «окон» изменится – выделено превышение отклоняемых поездов и новая оптимальная продолжительность «окна» (см. табл. 3).

### Заключение

В статье рассмотрены вопросы, связанные с задержками поездов в условиях предоставления «окон» различной продолжительности. Определены оптимальные продолжительности «окон» для всех перегонов моделируемого железнодорожного участка при пропуске 60 пар грузовых и 20 пар пассажирских поездов на основании суммарных задержек поездов в обоих направлениях, полученных методом имитационного моделирования процессов железнодорожных перевозок.

### Литература

1. Феоктистов Л.В. Комплексное планирование ремонтно-строительных работ и движения поездов // Железнодорожный транспорт. – № 4. – 2013. – С. 21-24.
2. Вислогузов В.В., Клой В.В., Таранцев А.А. О совершенствовании свода правил СП 153.13330.2009 в части обеспечения безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта // Транспорт России: проблемы и перспективы. ИПТ РАН. 1-2.10.2014, С. 207-209.
3. Симонова Т. ЦДРП реконструировала 2814 км железнодорожного пути // РЖД-Партнер URL: <http://www.rzd-partner.ru/news/zheleznodorozhnaia-infrastruktura/tsdrp-rekonstruirovala-2814-km-zheleznodorozhno-puti/>
4. Правительство ищет пути снижения издержек РЖД // Новая перевозочная URL: <http://npktrans.ru/Doc.aspx?docId=42574&CatalogId=653>
5. Abril, M. An Assessment of Railway Capacity / M. Abril, F. Barber, L. Ingolotti, M.A. Salido, P. Tormos, A. Lova [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://users.dsic.upv.es/~msalido/papers/transport.pdf>.
6. Landex, A. Evaluation of railway capacity / A. Landex, A.H. Kaas, B. Schittenhelm, J. Schneider-Tilli [электронный ресурс]. Режим доступа: [http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:51998/datastreams/file\\_2997244/content](http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:51998/datastreams/file_2997244/content).
7. Salido, M.A. Robustness in Railway Transportation Scheduling / M.A. Salido, F. Barber, L. Ingolotti [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://users.dsic.upv.es/grupos/gps/papers/robustnessCH.pdf>.
8. Sameni, M.K. Developing the UIC 406 Method for Capacity Analysis / M.K. Sameni, A. Landex, J. Preston [электронный ресурс]. Режим доступа: [http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:63478/datastreams/file\\_5598194/content](http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:63478/datastreams/file_5598194/content).
9. Белый О.В. Инновационные проблемы развития транспорта // Бюллетень объединенного ученого совета ОАО РЖД. – 2010. – №4. – С. 97-100.
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. 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
12. Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути. Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 2 мая 2012 г. №859р, 308 с.
13. Тимченко В.С. Алгоритмизация процессов оценки пропускной способности железнодорожных участков в условиях предоставления окон // Транспорт Российской Федерации. – 2013. – №5 (48). – С. 34 – 37.
14. Тимченко В.С. Алгоритмы расчета графиков проведения ремонтных работ железнодорожного пути на перспективу // Интернет-журнал «Науковедение». – 2014. – №3. – С. 127.
15. Кокурин И.М., Катцын Д.В., Тимченко В.С. Определение параметров «окон» при оценке перевозочных перспектив // Мир транспорта. – 2015. – №2. – С. 142-155.
16. 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.

### Сведения об авторах:

**Таранцев Александр Алексеевич**, заведующий лабораторией проблем развития транспортных систем и технологий Института проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук.

Тел. 8(812)323-29-54,  
e-mail: t\_\_54@mail.ru.

**Тимченко Вячеслав Сергеевич**, научный сотрудник лаборатории проблем организации транспортных систем Института проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук.

199178, Санкт-Петербург, 12-я линия, д. 13.  
Тел. 8(903)093-25-41,  
e-mail: tim4enko.via4eslav@mail.ru.