

УДК 625.1:004.94

Иосиф Михайлович Кокурин, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории проблем организации транспортных систем Института проблем транспорта им. Н. С. Соломенко Российской академии наук (ИПТ РАН), Санкт-Петербург, Россия,
Вячеслав Сергеевич Тимченко, научный сотрудник лаборатории проблем организации транспортных систем Института проблем транспорта им. Н. С. Соломенко Российской академии наук (ИПТ РАН), Санкт-Петербург, Россия

МЕТОД ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОТРЕБНОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЛИНИИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ДЛЯ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ МОРСКОГО ПОРТА, С УЧЕТОМ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ «ОКОН»

Iosif Mikhaylovich Kokurin, DSc in Engineering, Professor, Chief Researcher of the Laboratory of the organization of transport systems, Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences (IPT RAS), Saint-Petersburg, Russia,
Vyacheslav Sergeevich Timchenko, Research Scientist, Laboratory of the organization of transport systems, Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences (IPT RAS), Saint-Petersburg, Russia

Method for estimating the probability of ensuring the required capacity of the track used for transportation of seaport cargo with regard to the provision of "gaps"

Аннотация

Для определения возможности освоения прогнозируемых на длительный период перевозок грузов морского порта железнодорожным транспортом предлагается использовать метод имитационного моделирования, разработанный в ИПТ РАН. Приводится оценка вероятности соответствия наличной и потребной пропускной способности железнодорожной линии при различных вариантах реконструкции инфраструктуры и длительности занятия приемо-отправочных путей предпортовой станции с учетом предоставления «окон».

Ключевые слова: железнодорожные перевозки, имитационное моделирование, пропускная способность, ремонты инфраструктуры, реконструктивные и организационные мероприятия.

Summary

In order to determine the possibility to master the seaport cargo transportation projected for a long period with railway transport, it is proposed to use the simulation method developed at IPT RAS. The assessment of the probability of matching the existing and the required track capacity in different variants of the infrastructure reconstruction and the duration of the approach station receiving and departure tracks occupation with regard to the provision of "gaps" is presented.

Keywords: railway transportation, simulation, capacity, infrastructure repairs, reconstructions and organizational arrangements.

DOI: 10.20291/1815-9400-2016-2-81-86

Необходимость освоения существующих, а тем более прогнозируемых объемов экспортных перевозок требует реконструкции инфраструктуры железных дорог России [1]. Для решения этой задачи может быть использован метод имитационного моделирования, доказавший свою высокую эффективность при проектировании и исследовании сложных транспортных систем [2]. Например, имитационная система ИСТРА [3–7], разработанная и развиваемая в научной школе П. А. Козлова, позволяет оценивать пропускную способность технических станций, железнодорожных участков, узлов и направлений. Однако параметры систем железнодорожной автоматики и телемеханики, а также потребности и оптимальная продолжительность «окон» не рассматриваются.

Поэтому для количественной оценки пропускной и провозной способности железнодорожных участков при различных вариантах реконструкции инфраструктуры, технических и организационных мероприятиях (рис. 1) предлагается использовать разработанный в ИПТ РАН программный комплекс имитационного моделирования процессов перевозок [8–13].

Модуль планирования ремонтных работ (МППР) имитационной модели (см. рис. 1) на основе потребной пропускной способности, пропущенного тоннажа и последнего вида ремонта пути на начало периода планирования перевозок определяет места, протяженность и длительность «окон», а также величину ограничения скорости поездов, обусловленную выполнением реконструктивных и ремонтных работ в соответствии с инструкцией [14].

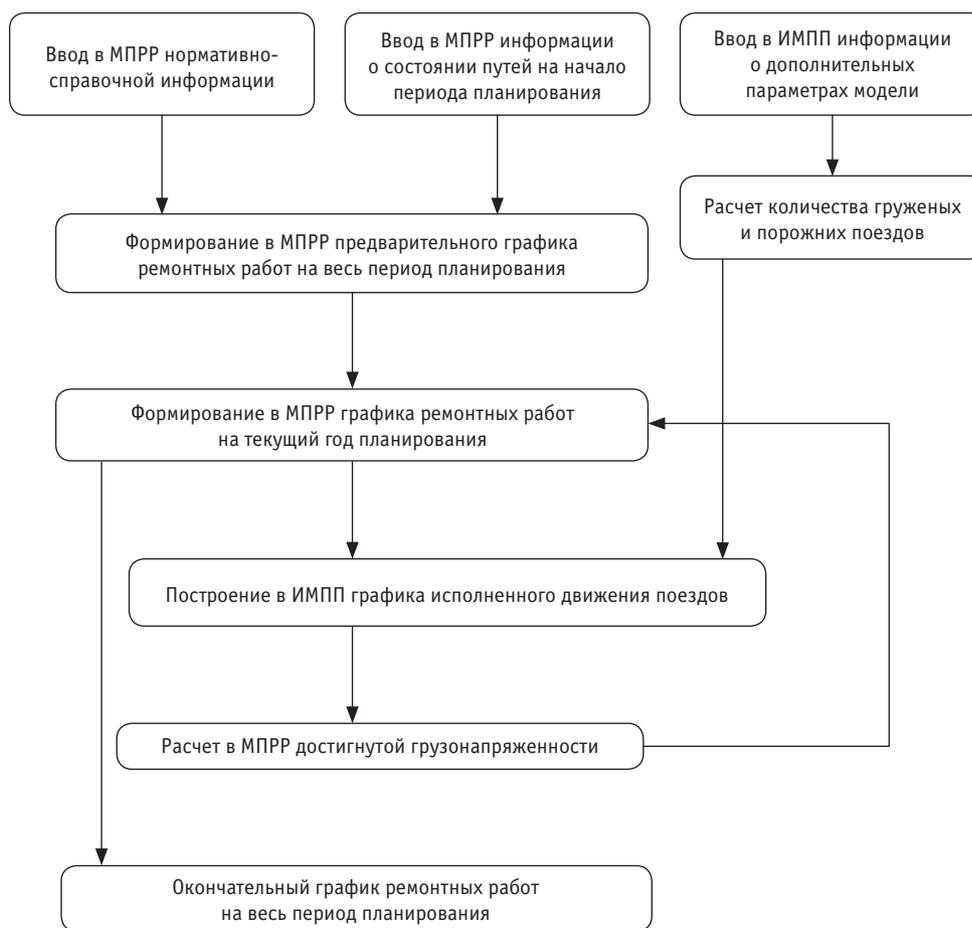


Рис. 1. Взаимодействие модулей разработанного в ИПТ РАН программного комплекса имитационного моделирования процессов перевозок

Эта информация передается в модуль имитационного моделирования процессов перевозок (ИМПП), который для заданного числа суток рассчитывает параметры графиков моделируемого движения поездов и определяет наличную пропускную и провозную способность.

В начале процесса моделирования пассажирские, пригородные и задаваемые пользователем грузовые поезда пропускаются по расписанию, а между ними имитируется пропуск остальных грузовых поездов.

Модель предусматривает возможность имитации пропуска заданного или максимального количества грузовых поездов всех категорий за сутки.

В режиме пропуска заданного количества грузовых поездов они отправляются с начальных станций расчетного участка через случайные интервалы времени, формируемые по заданному закону распределения вероятностей или по расписанию.

В режиме пропуска максимального количества грузовых поездов время их появления на входе системы первоначально не задается, а приоритет принимается равным их долям от общего количества. Поезд пропускается по железнодорожной линии в ближайший момент времени и реализует очередь типа FIFO («первый вошел — первый вышел»).

Станции обгонов и скрещений выбираются с учетом рассчитываемого перегонного времени хода и станционных интервалов, нормативной или статистической длительности выполнения станционных технологических операций, минимизации стоянок и неперевышения их заданной длительности.

В результате количество грузовых поездов, которое удастся пропустить за сутки при обоих режимах, становится случайной величиной, поскольку зависит от очередности пропуска поездов с различными ходовыми свойствами.

Информация о количестве поездов, которые были пропущены по участку, передается в модуль МПРР, где сравнивается с их планируемым количеством. Если планируемое количество поездов пропустить не удалось, то грузонапряженность на конец года пересчитывается, план предоставления «окон» корректируется и передается в модуль ИМПП.

При отсутствии возможности пропустить требуемое количество грузовых поездов по ремонтному участку проверяется вероятность отклонения части поездопотока на параллельные железнодорожные линии. При этом рассчитываются перепробеги и задержки поездов, которые используются для определения оптимальной продолжительности «окон» по минимальным суммарным затратам на задержки и ремонтные работы.

Для испытания метода выбрана обслуживающая морской порт двухпутная железнодорожная линия Октябрьской дороги, имеющая длину 174,7 км и оборудованная трехзначной автоблокировкой. Предпортовая железнодорожная станция включает 7 районных парков и одностороннюю сортировочную систему с транзитным парком.

Модуль ИМПП не учитывает работу сортировочного парка. Поэтому в модели составы, прибывающие в парк приема, занимают приемо-отправочные пути в течение заданного времени, после чего скатываются в сортировочный парк. В парке отправления поезда появляются в случайные моменты времени, но при этом количество поездов, прибывших в парк приема в течение суток, принимается равным количеству составов, передаваемых из парка отправления в районные парки.

В результате имитационного моделирования оценивается средняя за сутки и за месяц наличная пропускная способность железнодорожной линии по всем месяцам каждого года периода планирования перевозок.

Результаты моделирования показывают, что различия плана и профиля линии, а также параметров поездов обуславливают необходимость отдельной оценки наличной пропускной способности четного и нечетного направлений (рис. 2).

При анализе результатов имитационного моделирования с помощью программы Statistica 10 установлено, что величина наличной пропускной способности подчиняется нормальному закону распределения, поэтому вероятность ее обеспечения, которая превышает потребную, необходимую для перевозки всех прогнозируемых объемов заданной номенклатуры грузов, определяется выражением

$$P(N_{\Pi} < N_{\text{НМ}}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{N_{\Pi}}^{+\infty} \exp\left(-\frac{(x - N_{\text{НМ}})^2}{2\sigma^2}\right) dx = 1 - \Phi\left(\frac{N_{\Pi} - N_{\text{НМ}}}{\sigma}\right),$$

где N_{Π} — потребная пропускная способность моделируемого направления движения по железнодорожному участку;

$N_{\text{НМ}}$ — оценка математического ожидания наличной пропускной способности моделируемого направления движения по железнодорожному участку;

σ — среднее квадратическое отклонение величины наличной пропускной способности;

Φ — табличная функция нормального распределения.

Особенность технологии работы предпортовой станции заключается в том, что длительность занятия каждого приемо-отправочного пути — это случайная величина, зависящая от даты и времени подхода морских судов, степени заполнения складов, непроизводительных простоев и других факторов, приводящих к значительному превышению нормативной длительности занятия путей. Поэтому ее максимальное значение, при котором обеспечивается провозная способность железнодорожной линии, обслуживающей морской порт, предлагается определять методом имитационного моделирования процессов перевозок.

Соответствие наличной и потребной пропускной способности при первом варианте — минимальном количестве приемо-отправочных путей (рис. 3) в районных парках (РП) предпортовой железнодорожной станции (РП № 1 — 3, РП № 2 — 9, РП № 3 — 8, РП № 4 — 7, РП № 5 — 2, РП № 6 — 4, РП № 7 — 4) определяется в условиях пропуска 10 пар пассажирских поездов, предоставления 40 «окон» продолжительностью 8 ч каждое на ограничивающем перегоне длиной 14,6 км в период возможности выполнения работ и длительности занятия приемо-отправочных путей, равной 2, 4, 6, 8 и 10 ч.

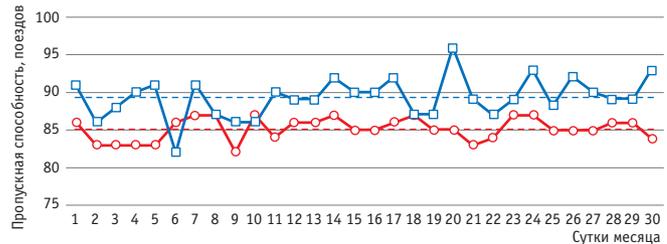


Рис. 2. Зависимости наличной пропускной способности железнодорожной линии от очередности пропуска грузовых поездов и ее средние значения за месяц:

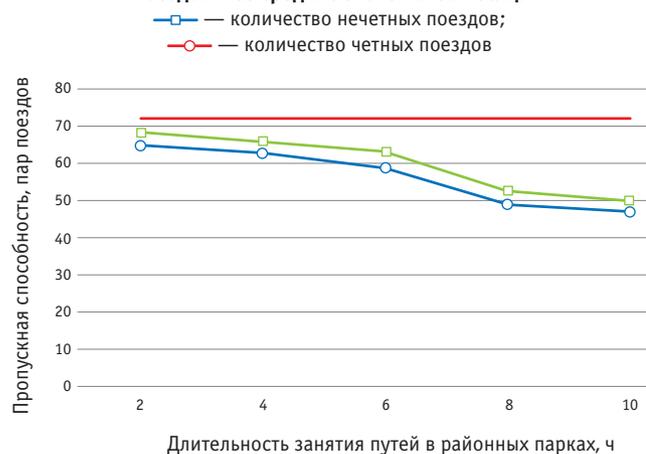


Рис. 3. Зависимость наличной пропускной способности железнодорожной линии в четном направлении от длительности занятия приемо-отправочных путей в районных парках при первом варианте:

— в условиях предоставления «окон»; — при отсутствии «окон»; — потребная пропускная способность

Как показывает анализ, при минимальном количестве приемо-отправочных путей наличная пропускная способность в данных условиях составляет 68 пар грузовых поездов при отсутствии «окон» и 65 пар — при их предоставлении, что меньше потребной пропускной способности, равной 72 парам грузовых поездов.

Пропускная способность рассматриваемой железнодорожной линии (рис. 4) при втором варианте — увеличенном количестве приемо-отправочных путей в районных парках (РП № 1 — с 3 до 5, РП № 2 — с 9 до 12, РП № 3 — с 8 до 11, РП № 4 — с 7 до 10, РП № 5 — с 2 до 3, РП № 6 — с 4 до 6, РП № 7 — с 4 до 6) определяется в тех же условиях. Пропорциональное увеличение количества приемо-отправочных путей

обеспечивает их равномерную загрузку при распределении грузопотока по прилегающим терминалам назначения и позволяет избежать ситуации, когда в одних районных парках приемо-отправочных путей недостаточно, а в других — избыточно.

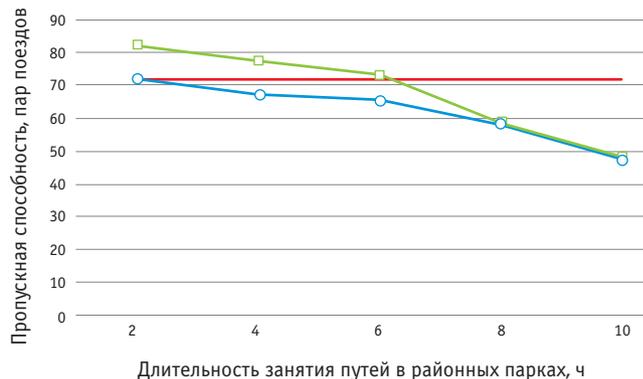


Рис. 4. Зависимость наличной пропускной способности железнодорожной линии в четном направлении от длительности занятия приемо-отправочных путей в районных парках при втором варианте:

— в условиях предоставления «окон»; — при отсутствии «окон»; — необходимая пропускная способность

Результаты имитационного моделирования показывают, что в четном направлении наличная пропускная способность рассматриваемой железнодорожной линии превышает по-

требную, равную 72 парам грузовых поездов, с вероятностями, представленными в табл. 1.

На рис. 5 показана наличная пропускная способность рассматриваемой железнодорожной линии при втором варианте количества приемо-отправочных путей.

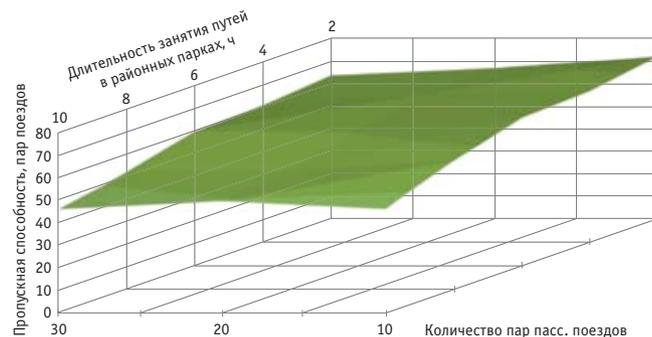


Рис. 5. Зависимость пропускной способности моделируемой железнодорожной линии в четном направлении от количества пассажирских поездов и длительности занятия приемо-отправочных путей районных парков предпортовой железнодорожной станции в условиях предоставления «окон»

Наличная пропускная способность рассматриваемой железнодорожной линии в нечетном направлении, согласно результатам имитационного моделирования, превышает потребную с вероятностями, представленными в табл. 2.

Таблица 1

Оценка вероятностей освоения прогнозируемых объемов перевозок заданной номенклатуры грузов в четном направлении

№ п/п	Вариант	Длительность занятия путей, ч	$N_{НМ}$	$N_{П}$	σ	$P(N_{П} < N_{НМ})$
1	1-й вариант с «окнами»	2	69,38	72	1,46	0,0364
2	То же	4	68,04	72	1,68	0,0092
3	«	6	63,77	72	1,14	0,0000
4	«	8	55,35	72	1,09	0,0000
5	«	10	50,05	72	0,85	0,0000
6	1-й вариант без «окон»	2	73,07	72	1,69	0,7367
7	То же	4	69,42	72	1,14	0,0118
8	«	6	67,21	72	1,32	0,0001
9	«	8	55,78	72	1,1	0,0000
10	«	10	51,92	72	0,71	0,0000
11	2-й вариант с «окнами»	2	76,53	72	1,51	0,9987
12	То же	4	71,11	72	1,37	0,2580
13	«	6	68,51	72	1,17	0,0014
14	«	8	61,42	72	1,14	0,0000
15	«	10	50,37	72	0,79	0,0000
16	2-й вариант без «окон»	2	86,74	72	1,58	1,0000
17	То же	4	82,29	72	1,43	1,0000
18	«	6	77,14	72	1,38	0,9999
19	«	8	61,7	72	0,9	0,0000
20	«	10	50,91	72	0,97	0,0000

Таблица 2

Оценка вероятностей освоения прогнозируемых объемов перевозок заданной номенклатуры грузов в нечетном направлении

№ п/п	Вариант	Длительность занятия путей, ч	N_{HM}	$N_{П}$	σ	$P(N_{П} < N_{HM})$
1	1-й вариант с «окнами»	2	75,9	72	1,83	0,9835
2	То же	4	71,49	72	1,72	0,3834
3	«	6	63,65	72	1,74	0,0000
4	«	8	55,37	72	1,68	0,0000
5	«	10	50,05	72	1,85	0,0000
6	1-й вариант без «окон»	2	82	72	1,83	1,0000
7	То же	4	75,45	72	1,59	0,9850
8	«	6	67,2	72	2,19	0,0142
9	«	8	55,77	72	1,58	0,0000
10	«	10	51,93	72	1,48	0,0000
11	2-й вариант с «окнами»	2	77,03	72	2,07	0,9924
12	То же	4	71,73	72	1,84	0,4417
13	«	6	69,25	72	1,7	0,0529
14	«	8	59,33	72	1,1	0,0000
15	«	10	52,48	72	1,56	0,0000
16	2-й вариант без «окон»	2	87,23	72	1,68	1,0000
17	То же	4	81,85	72	1,58	1,0000
18	«	6	77,3	72	1,59	0,9996
19	«	8	65,68	72	1,64	0,0001
20	«	10	53,62	72	1,59	0,0000

Анализ оценок вероятностей превышения наличной пропускной способности над потребной дает возможность определить для рассматриваемой железнодорожной линии надежность освоения планируемых объемов перевозок.

Таким образом, разработанный и развиваемый в ИПТ РАН программный комплекс имитационного моделирования процессов железнодорожных перевозок позволяет определять: потребность и оптимальную продолжительность «окон» ежегодно на заданный период проведения ремонтных работ (с использованием данных ОАО «РЖД») о пропущенном тонна-

же и выполненном ремонте на год начала моделирования процессов перевозок);

наличную пропускную способность железнодорожного участка (с учетом параметров движения всех категорий поездов, обращающихся на нем, вида тяги, количества, полезной длины и длительности занятия приемо-отправочных путей, координат светофоров и длин защитных участков, используемых систем автоматики и телемеханики, наличия «окон»);

вероятность освоения прогнозируемых объемов железнодорожных перевозок всей номенклатуры грузов за каждый год периода планирования.

Литература

1. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года : утв. распоряжением Правительства Рос. Федерации от 22.11.08 № 1734-р : в ред. распоряжения Правительства Рос. Федерации от 11.06.14 № 1032-р [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rador.ru/news/strategy2030.pdf> (дата обращения: 17.03.2016).
2. Мишкuroв П. Н., Рахмангулов А. Н. Типизация промышленных железнодорожных станций // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2012. № 2. С. 143–151. ISSN 2222–9396.
3. О пропускной способности станционных горловин / П. А. Козлов, Е. Н. Тимухина, В. Ю. Пермикин, Н. Е. Окулов // Транспорт Урала. 2014. № 2 (41). С. 47–49. ISSN 1815–9400.

References

1. Transportnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda : utv. rasporyazheniyem Pravitelstva Ros. Federatsii ot 22.11.08 № 1734-r : v red. pasporiyazheniya Pravitelstva Ros. Federatsii ot 11.06.14 № 1032-r [Transport strategy of the Russian Federation for the period till 2030 : approved by Russian Government Decree № 1734-r dated November 22, 2008 : as amended by Russian Government Decree № 1032-r dated June 11, 2014]. [Electronic resource]. URL: <http://www.rador.ru/news/strategy2030.pdf> (access date: 17.03.2016).
2. Mishkurov P. N., Rakhmangulov A. N. Tipizatsiya promyshlennykh zheleznodorozhnykh stantsiy [Typing industrial railway stations] // Sovremennyye problemy transportnogo kompleksa Rossii. 2012. № 2. S. 143–151. ISSN 2222-9396.
3. O propusknoy sposobnosti stantsionnykh gorlovin [Station neck capacity] / P. A. Kozlov, E. N. Timukhina, V. Yu. Permikin, N. E. Okulov // Transport Urala. 2014. № 2 (41). S. 47–49. ISSN 1815-9400.

4. Козлов П. А., Козлова В. П. Оптимизация функциональной структуры транспортного узла // Наука и техника транспорта. 2005. № 1. С. 17–31. ISSN 2074–9325.
5. Александров А. Э., Сурин А. В. Имитационные модели и их взаимодействие в автоматизированной сквозной технологии оперативного планирования поездообразования и поездной работы // Транспорт Урала. 2012. № 3 (34). С. 54–57. ISSN 1815–9400.
6. Тушин Н. А. Системная интеграция в транспортных процессах (теоретические основы, организационные формы, методы оптимизации) : дис. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург, 2012. 408 с.
7. Осокин О. В. Интеллектуальное сопровождение производственных процессов на железнодорожном транспорте : дис. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург, 2014. 355 с.
8. 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. ISSN 0236–1914.
9. 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 (48). С. 39–44. ISSN 1997–0722.
10. Кокурин И. М., Катцын Д. В., Тимченко В. С. Определение параметров «окон» при оценке перевозочных перспектив // Мир транспорта. 2015. № 2. С. 142–155. ISSN 1992–3252.
11. Тимченко В. С. Алгоритмы расчета графиков проведения ремонтных работ железнодорожного пути на перспективу // Интернет-журнал «Науковедение». 2014. № 3 (22). ISSN 2223–5167 [Электронный ресурс]. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/06TVN314.pdf> (дата обращения: 17.03.2016).
12. Тимченко В. С. Алгоритмизация процессов оценки пропускной способности железнодорожных участков в условиях предоставления окон // Транспорт Российской Федерации. 2013. № 5 (48). С. 34–37. ISSN 1994–831X.
13. Тимченко В. С. Расчет пропускной способности двухпутного железнодорожного участка с учетом категорий грузовых поездов методом имитационного моделирования процессов перевозок // Интернет-журнал «Науковедение». 2015. Т. 7. № 5. ISSN 2223–5167. DOI: 10.15862/12TVN515 [Электронный ресурс]. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/12TVN515.pdf> (дата обращения: 17.03.2016).
14. Инструкция по обеспечению безопасности движения поездов при производстве путевых работ : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 29.12.12 № 2790р. М. : МПС РФ, 2013. 190 с.
4. Kozlov P. A., Kozlova V. P. Optimizatsiya funktsionalnoy struktury transportnogo uzla [Optimization of the transport hub functional structure] // Nauka i tekhnika transporta. 2005. № 1. S. 17–31. ISSN 2074-9325.
5. Aleksandrov A. E., Surin A. V. Imitatsionnyye modeli i ikh vzaimodeystviye v avtomatizirovannoy skvoznoy tekhnologii operativnogo planirovaniya poyezdoobrazovaniya i poyezdnoy raboty [Simulation models and their interaction in automated end-to-end technology for operational planning of train formation and train service] // Transport Urala. 2012. № 3 (34). S. 54–57. ISSN 1815-9400.
6. Tushin N. A. Sistemnaya integratsiya v transportnykh protsessakh (teoreticheskiye osnovy, organizatsionnyye formy, metody optimizatsii) : dis. ... d-ra tekhn. nauk [System integration in transport processes (theoretical bases, organizational forms, methods of optimization) : DSc in Engineering Thesis]. Ekaterinburg, 2012. 408 s.
7. Osokin O. V. Intellectualnoye soprovozhdeniye proizvodstvennykh protsessov na zheleznodorozhnom transporte : dis. ... d-ra tekhn. nauk [Intelligent maintenance of operation processes on railway transport : DSc in Engineering Thesis]. Ekaterinburg, 2014. 355 s.
8. Kokurin I. M., Minyayev S. Ye. Otsenka tekhniko-ekonomicheskoy effektivnosti variantov rekonstruktsii zheleznodorozhnoy seti na osnove imitatsionnogo modelirovaniya [Evaluation of technical and economic efficiency of variants of reconstruction of the railway network on the basis of simulation] // Transport: nauka, tekhnika, upravleniye. 2004. № 6. S. 20–26. ISSN 0236-1914.
9. Kokurin I. M., Timchenko V. S. Otsenka metodom imitatsionnogo modelirovaniya vozmozhnosti osvoyeniya prognoziruyemykh obyomov perevozok грузов po zheleznodorozhnoy linii, obsluzhivayushchey morskoy port [Simulation methods to assess the possibility to handle the projected volume of freight traffic on the railway lines servicing the seaport] // Vestnik transporta Povolzhya. 2014. № 6 (48). S. 39–44. ISSN 1997-0722.
10. Kokurin I. M., Kattsyn D. V., Timchenko V. S. Opredeleniye parametrov "okon" pri otsenke perevozochnykh perspektiv [Determination of the "gaps" parameters in assessing the prospects of transportation] // Mir transporta. 2015. № 2. S. 142–155. ISSN 1992-3252.
11. Timchenko V. S. Algoritmy raschyota grafikov provedeniya remontnykh rabot zheleznodorozhnogo puti na perspektivu [Algorithms to calculate the graphs of railway track repairs for the future] // Internet-zhurnal "Naukovedeniye". 2014. № 3 (22). ISSN 2223-5167 [Electronic resource]. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/06TVN314.pdf> (access date: 17.03.2016).
12. Timchenko V. S. Algoritmizatsiya protsessov otsenki propusknoy sposobnosti zheleznodorozhnykh uchastkov v usloviyakh predostavleniya okon [Algorithmic presentation of assessment of railway sections capacity under conditions of gaps provision] // Transport Rossiyskoy Federatsii. 2013. № 5 (48). S. 34–37. ISSN 1994-831X.
13. Timchenko V. S. Raschyot propusknoy sposobnosti dvukhpутnogo zheleznodorozhnogo uchastka s uchotom kategoriy грузовykh poyezdov metodom imitatsionnogo modelirovaniya protsessov perevozok [Calculation of capacity of double-track railway section in view of the categories of freight trains by carriage processes simulation] // Internet-zhurnal "Naukovedeniye". 2015. T. 7. № 5. ISSN 2223-5167. DOI: 10.15862/12TVN515 [Electronic resource]. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/12TVN515.pdf> (access date: 17.03.2016).
14. Instruksiya po obespecheniyu bezopasnosti dvizheniya poyezdov pri proizvodstve putevykh rabot : utv. rasporyazheniyem OAO "RZhD" ot 29.12.12 № 2790r [Instructions to ensure rail traffic safety when performing trackworks : approved by the Order of OJSC Russian Railways № 2790r dated December 29, 2012]. M. : MPS RF, 2013. 190 s.