

- Magnitogorsk. gos. tehn. un-ta im. G.I. Nosova [Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2014, 300 p.
5. Schityvanie metok [Labels Scanning]. Available: <http://goo.gl/pA2jIP> [2015, May 27].
6. Tehnologija, mehanizacija i avtomatizacija putevyh rabot. Uchebnik dlja vuzov [Technology, mechanization and automation of track work. Textbook for high schools] / Je.V. Vorob'ev, K.N. D'jakov, V.G. Maksimov i dr. Pod. red. Je.V. Vorob'eva, K.N. Djakova. Moscow: Transport, 1996, 375 p.

7. Organization of Transportation and Transport Management. Technology. Part 2: Tekstbook/ Editors. S.N. Kornilov, A.N. Rakhmangulov. Magnitogorsk: NMSTU, 2011, 176 p.
8. Sladkowski A., Pamula T. Intelligent transportation systems - problems and perspectives. Springer, Studies in Systems Decision and Control, Vol. 32, Switzerland, 2016, 303 p.
9. Vegman E.F i dr. Metallurgija chuguna [Iron Metallurgy]. Moscow: IKC «Akademkniga», 2004, 774 p.

УДК 656.222.4:004.428.4

Тимченко В.С., Кокурин И.М.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ «УЗКИХ МЕСТ», ОГРАНИЧИВАЮЩИХ ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ

Аннотация. В статье представлен обзор методов: получения данных о временных параметрах продвижения грузовых поездов по железнодорожным направлениям с использованием существующих информационных систем; пропуска испытательных грузовых поездов для определения «узких мест», ограничивающих пропускную способность при современных объемах перевозок и существующем техническом оснащении. Представлен пример использования метода имитационного моделирования движения грузовых поездов для определения «узких мест» при прогнозируемых объемах перевозок и в условиях развития технического оснащения железнодорожных станций.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, пропускная способность, методы определения «узких мест», имитационное моделирование

По данным Ассоциации морских торговых портов [1], объем железнодорожных перевозок, обслуживающих морские порты РФ, увеличился с 413.3 млн т в 2007 году до 623.4 млн т в 2014 году.

Техническое состояние сети железных дорог РФ не позволяет освоить существующие, а тем более перспективные объемы перевозок, что вызывает необходимость проведения дорогостоящих реконструктивных мероприятий.

В настоящее время суммарная протяженность участков с недостаточной пропускной способностью («узких мест») составляет 8.3 тыс. км или около 30% протяженности основных направлений сети железных дорог, обеспечивающих около 80% всей грузовой работы [2].

Для экономии инвестиций предлагаются методы определения «узких мест», ограничивающих пропускную способность при существующих и перспективных объемах перевозок, и обоснования мероприятий по их поэтапному устранению.

1. Метод получения информации о временных параметрах продвижения грузовых поездов по обследуемым железнодорожным направлениям.

Принятые формы статистической отчетности не содержат данных о моментах времени проследования грузовыми поездами станций. Из множества железнодорожных информационных систем для решения данной задачи может быть использована система СИРИУС. Однако она позволяет получать эти данные только для тех станций, с которых предусмотрена передача информации. Кроме того, эта информация остается доступной пользователям в течение короткого промежутка времени после проследования поезда. Возможно ручное дополнение информации о проследовании поездов данными, полученными из системы

ГИД-Урал. В этой системе необходимые данные хранятся в течение длительного времени, однако получить их можно только в пределах одной железной дороги.

Для статистической обработки получаемых данных использовались электронные таблицы Microsoft Excel, с помощью которых высчитывались длительности стоянок поездов на станциях, технические, участковые и маршрутные скорости движения испытательных поездов. При этом важно отметить, что получаемые величины не усреднялись по всем пропущенным поездам. Это позволило выявлять длительные стоянки и низкие скорости отдельных поездов, которым соответствуют «узкие места», ограничивающие пропускную способность.

2. Методы определения «узких мест», ограничивающих пропускную способность. На информационной основе первого метода разработан метод мониторинга параметров движения испытательных грузовых поездов, а для перспективных размеров движения, предлагаемых вариантов организации перевозок и реконструкции инфраструктуры – метод имитационного моделирования движения грузовых поездов [3-12]. Оба метода испытывались на железнодорожном направлении Кузбасс–Лужская.

На **рис. 1** представлены максимальные простои испытательных поездов на всех станциях рассматриваемого железнодорожного направления. Ранжирование этих величин в порядке убывания позволило определить станции, в наибольшей степени ограничивающие пропускную способность: Гатчина-Товарная, Балтийская, Волховстрой-2, Свердловск-Сортировочный, Ишим, Россолово, Фрезерный, Терентьев, Шаля, Буй, Бабаево, Волховстрой-1, Пороги и т.д.

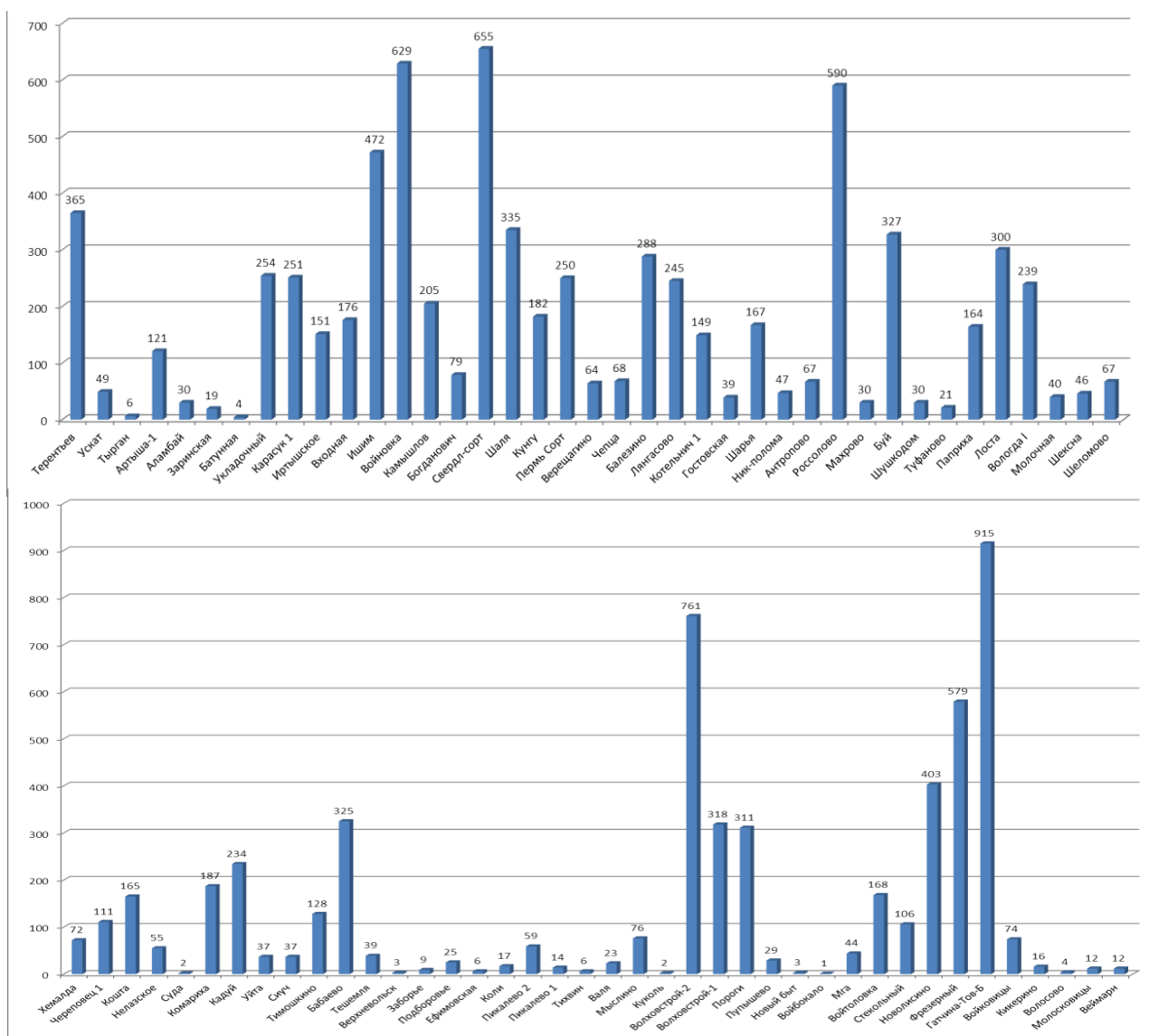


Рис. 1. Максимальные простои поездов на станциях рассматриваемого железнодорожного направления (а) и полигона (б), мин.

Косвенно выявить технические станции, задерживающие приём поездов, возможно по минимальным техническим скоростям движения испытательных поездов по перегонам. На рис. 2 представлены данные о доли испытательных поездов, имеющих технические скорости менее 20 км/ч на перегонах Горьковской, Северной и Октябрьской железных дорог.

На Горьковской дороге наибольшая задержка приёма грузовых наблюдается на станциях Пибаньшур, Балезино, Лянгасово и Свеча. На Северной дороге – на станциях Шарья, Буй, Нея, Зебляки, Супровитны, Шушлом и Паприха. На Октябрьской дороге – Гатчина-Товарная-Балтийская, Волховстрой-1, Пикалево-1, Пупышево, Нелазское, Кадуи, Тешемля, Сиуч, Подборовье, Тихвин и Мга.

Полученная статистическая информация позволяет определять последовательность реконструкции железнодорожных станций на обследуемом направлении.

Как следует из проведённого анализа, максималь-

ные длительности стоянок испытательных поездов на обследованной Октябрьской дороге (до 915 мин.) происходят на станции Гатчина-Товарная-Балтийская (см. рис. 1б).

Поэтому на примере этой станции рассмотрим эффективность предлагаемых организационных и реконструктивных мероприятий с применением метода имитационного моделирования движения поездов.

На основе математической обработки статистической информации о длительностях занятия приёмно-отправочных путей станции Гатчина-Товарная-Балтийская, полученной из системы ГИД-Урал, установлено, что эти данные подчиняются логнормальному закону распределения (рис. 3).

В соответствии с технологией работы обследуемой станции, пути 2, 4 и 6 используются для приёма и отправления тяжёловесных и длинносоставных поездов, которые пропускаются в первоочередном порядке. Пути 3, 5, 7, 8 и 9 используются для поездов установленного веса и длины и могут использоваться для

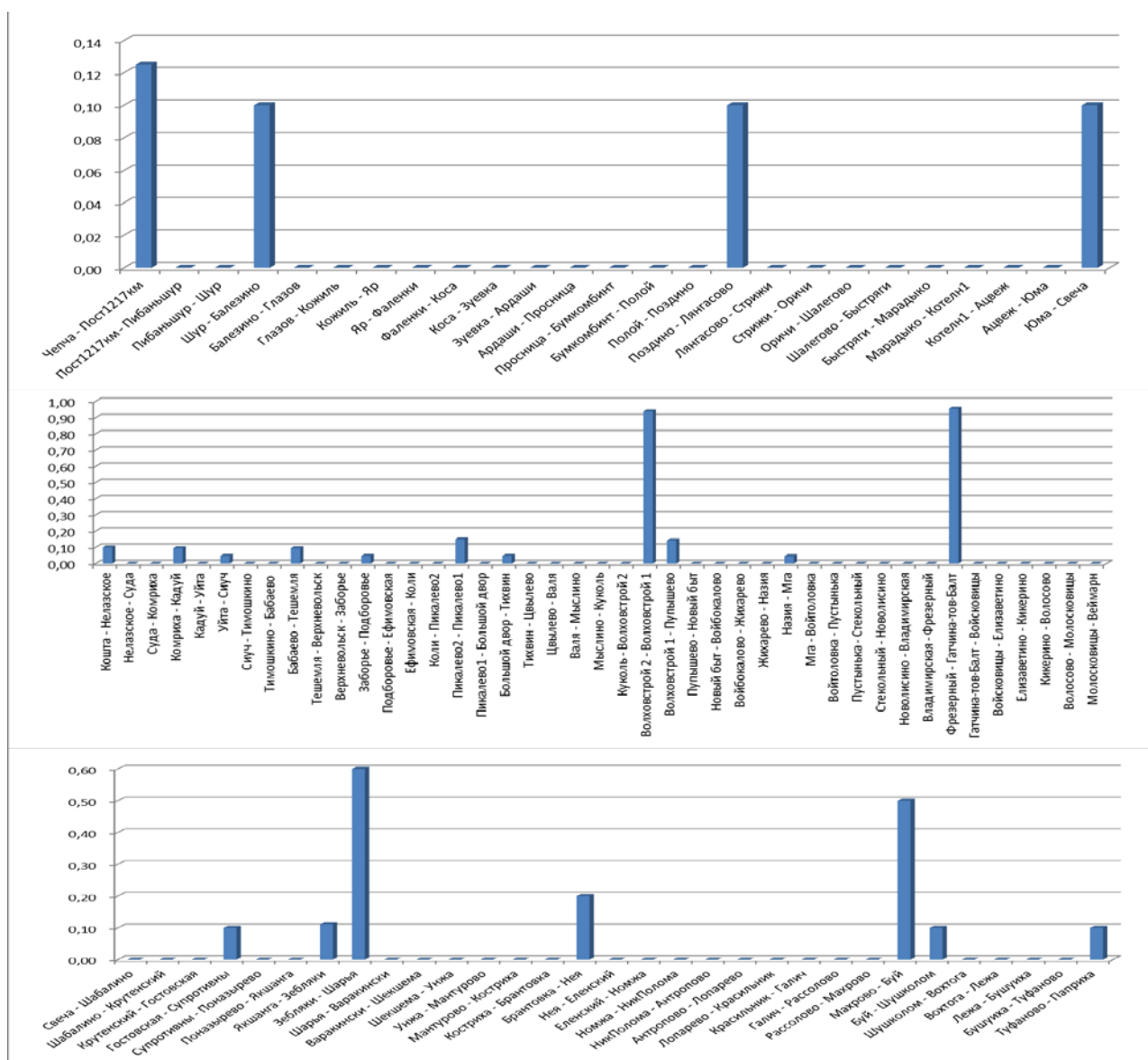


Рис. 2. Доля поездов с техническими скоростями до 20 км/ч на перегонах Горьковской, Октябрьской и Северной железных дорог

длительных стоянок поездов. Специализация путей приводит к существенному изменению параметров закона распределения длительностей занятия станционных путей, которые учитываются при имитационном моделировании процессов перевозок (табл. 1).

Длительные простои составов и локомотивов на станции Гатчина-Товарная-Балтийская и поездов на подходах к ней обусловлены транспортным обслуживанием морского торгового порта Усть-Луга в условиях строительства сортировочной станции Лужская-Сортировочная и незаконченной электрификацией участка Гатчина – Товарная – Балтийская – Лужская. Как следствие, возникает необходимость смены локомотивов и локомотивных бригад на границе электрической и тепловозной тяги.

Кроме того, задержки передвижений происходят по следующим причинам:

- недостаточное количество приёмо-отправочных путей в условиях существующей неравномерности

прибытия грузовых поездов;

Таблица 1

Параметры законов распределения длительностей занятия приёмо-отправочных путей станции Гатчина-Товарная-Балтийская

№ пути	Параметры законов распределения
2	$y=1.0200 \cdot \text{Lognorm}(x; 5.09732088; 0.758781597)$
3	$y=0.9400 \cdot \text{Lognorm}(x; 5.38159475; 0.719177337)$
4	$y=1.2600 \cdot \text{Lognorm}(x; 5.20744401; 0.702969766)$
5	$y=0.7600 \cdot \text{Lognorm}(x; 5.23081091; 0.786009521)$
6	$y=1.2800 \cdot \text{Lognorm}(x; 5.24537205; 0.730119145)$
7	$y=1.1300 \cdot \text{Lognorm}(x; 5.24458722; 0.689187822)$
8	$y=1.1500 \cdot \text{Lognorm}(x; 5.26710296; 0.76872101)$
9	$y=1.0500 \cdot \text{Lognorm}(x; 5.36434577; 0.767385916)$

- недостаточное количество путей для отстоя сменяемых локомотивов, которые вмещают только электровазы, а тепловозы приходится направлять на 35-й путь третьего приёмо-отправочного парка, в результате чего возникают дополнительный пробег локомотивов, а также пересечение маршрутов;
- прекращение железнодорожного движения через переезд 49 км, расположенный между парками станции Гатчина-Товарная-Балтийская, в периоды с 6:50 до 7:30, с 8:10 до 8:50 и с 17:40 до 19:00, выполняемое по просьбе местной администрации, что по статистическим данным влечёт ежесуточный переотдых локомотивных бригад около 2.5 часов.

Для оценки пропускной способности участка Гатчина – Товарная – Балтийская – Веймарн использовалось имитационное моделирование процессов перевозок в условиях современного состояния инфраструктуры, предоставления «окон» для ремонтных работ на участке Кошта – Лужская на 2012 год, плановых объёмов перевозок и статистических данных о длительностях занятия приёмо-отправочных путей.

При этом были проведены следующие варианты оценки максимальной пропускной способности участка:

- без предоставления «окон» и прекращения железнодорожного движения через переезд 49 км;
- при назначении «окон» для проведения ремонтных работ;
- с учётом прекращения железнодорожного движения через переезд 49 км;
- в условиях предоставления «окон» и прекращения железнодорожного движения через переезд 49 км.

Таблица 2

Результаты расчётов, проведённых с использованием метода имитационного моделирования

Результаты моделирования	Вариант расчёта			
	1	2	3	4
Средняя за месяц пропускная способность участка, пар поездов	48.2	37.5	46.7	35.6
Средняя длительность занятия путей в Западном парке станции Гатчина – Товарная - Балтийская, мин.	114.9	136.4	119.5	137.1

На рис. 4 представлен фрагмент графика движения поездов за период с 16:00 до 24:00, полученного с использованием метода имитационного моделирования для условий варианта 4. Результаты расчётов сведены в табл. 2.

Представленные результаты показывают, что для заданных условий определяющим фактором снижения пропускной способности участка и увеличения длительности стоянок поездов на станции Гатчина – Товарная – Балтийская является предоставление «окон» для ремонтных работ. Прекращения

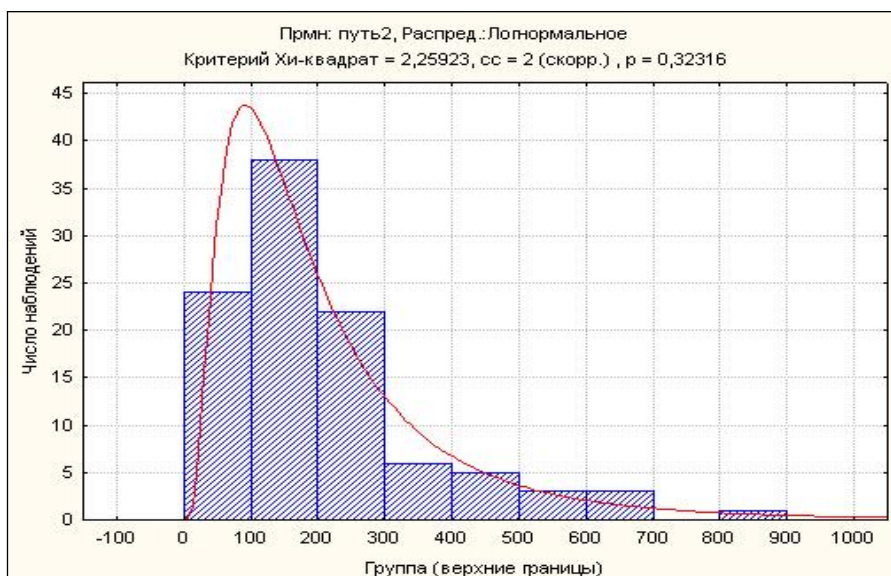


Рис. 3. Гистограмма и теоретическая кривая плотности распределения длительностей занятия пути 2 станции Гатчина-Товарная-Балтийская

железнодорожного движения через переезд 49 км снижают пропускную способность участка лишь на 1.5 пары поездов и увеличивают среднюю длительность занятия путей в Западном парке на 4.6 мин.

Эксперименты на имитационной модели показали, что потребная пропускная способность участка обеспечивается надёжно.

Обследования технологии и условий работы на станции определили следующие дополнительные причины длительного занятия приёмо-отправочных путей и задержек поездов (в порядке убывания важности):

- неравномерное по времени суток и сгущённое прибытие на станцию поездов назначением на станцию Лужская, особенно при неисправностях тепловозов, а также в периоды предоставления «окон».
- длительное занятие путей осмотром вагонов и подготовкой поездов к отправлению, особенно перед окончанием смен осматривщиков вагонов, а также не использование устройств зарядки и опробования тормозов (УЗОТ).

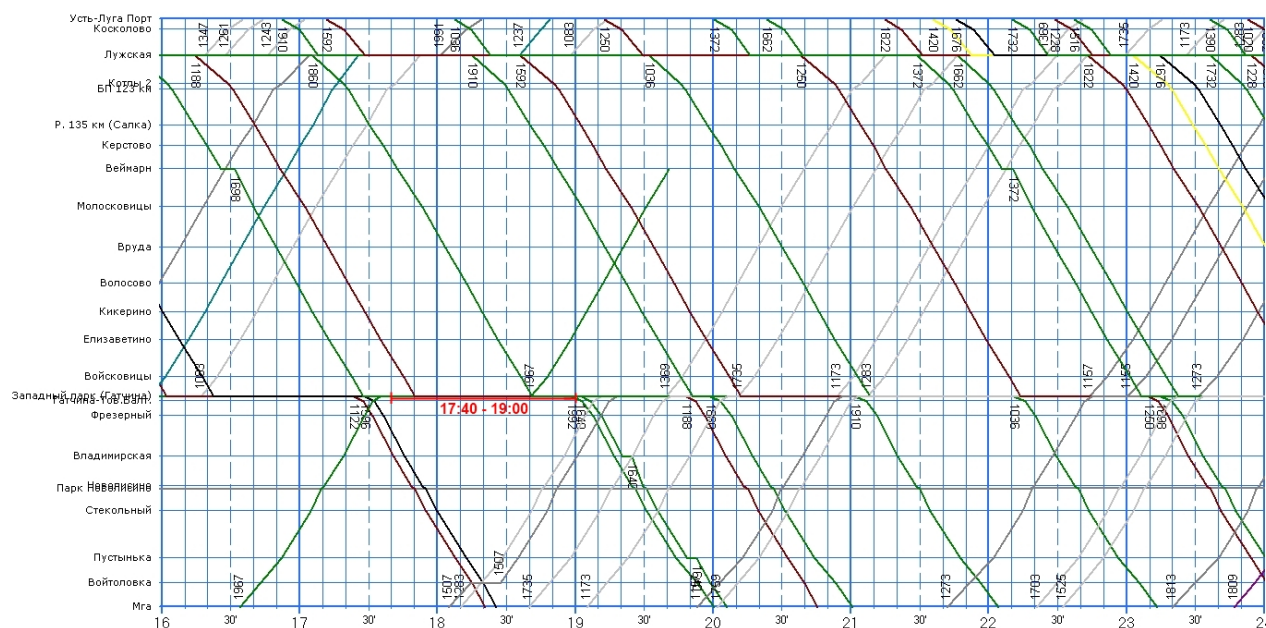


Рис. 4. График движения поездов, полученный методом имитационного моделирования в условиях варианта 4

После завершения в ближайшие годы электрификации железнодорожного участка Гатчина – Товарная – Балтийская – Лужская и увеличения числа приемо-отправочных путей в Усть-Лужском железнодорожном узле, поезда будут следовать на станцию Лужская без смены тяги. Поэтому условия работы на станции Гатчина – Товарная – Балтийская существенно улучшатся и увеличение количества приемо-отправочных путей на этой недавно реконструированной станции не требуется.

Заключение

Таким образом, использование метода мониторинга параметров движения испытательных грузовых поездов для определения мест и причин, ограничивающих пропускную способность при существующих размерах движения и современном техническом оснащении, а также метода имитационного моделирования движения грузовых поездов для перспективных размеров движения и предлагаемых вариантов организации перевозок, позволяет выявлять и обосновывать очередность ликвидации «узких мест» обследуемых железнодорожных направлений.

Список литературы

1. Грузооборот морских портов России за 2014 год. Ассоциация морских портов России. URL: <http://www.morport.com/rus/news/document/1559.shtml>. Дата обращения: 12.06.2015.
2. Артемьев И. От административных методов – к саморегулированию // РЖД Партнер. 2012. №8. С. 36-37.
3. Кокурин И.М., Миняев С.Е. Оценка технико-экономической эффектив-

ности вариантов реконструкции железнодорожной сети на основе имитационного моделирования // Транспорт. Наука, техника, управление. 2004. №6. С. 20-26.

4. Кокурин И.М., Кудрявцев В.А. Оценка пропускной способности железнодорожных линий на основе имитационного моделирования процессов перевозок // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2012. №2. С. 18-22.
5. Кокурин И.М., Тимченко В.С. Методы определения «узких мест», ограничивающих пропускную способность железнодорожных направлений // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2013. №1 (34). С. 15-22.
6. Кокурин И.М., Тимченко В.С. Методология улучшения железнодорожного транспортного обслуживания морских торговых портов / Международная науч.-практ. конф. Транспорт России: проблемы и перспективы. СПб.: ИПТ РАН, 2012. С. 31-35.
7. Кокурин И.М., Тимченко В.С. Алгоритм оценки наличной пропускной способности железнодорожных участков в условиях планирования «окон» большой продолжительности / Международная науч.-практ. конф. Транспорт России: проблемы и перспективы. СПб.: ИПТ РАН, 2013. С. 71-75.
8. Кокурин И.М., Тимченко В.С. Использование имитационного моделирования процессов перевозок для оценки пропускной способности железнодорожной линии, обслуживающей морской порт / Международная науч.-практ. конф. Транспорт России: проблемы и перспективы. СПб.: ИПТ РАН, 2014. С. 164-169.
9. Тимченко В.С. Оценка перспективной пропускной способности участков железнодорожной сети с учётом предоставления «окон», на основе применения имитационного моделирования процессов перевозок // Молодой учёный. 2014. №2. С. 199-204.
10. Кокурин И.М., Тимченко В.С. Оценка методом имитационного моделирования возможности освоения прогнозируемых объёмов перевозок грузов по железнодорожной линии, обслуживающей морской порт // Вестник транспорта Поволжья. 2014. №6. С. 39-44.
11. Тимченко В.С. Алгоритмизация процессов оценки пропускной способности железнодорожных участков в условиях предоставления окон // Транспорт Российской Федерации. 2013. №5 (48). С. 34-37.
12. Тимченко В.С. Алгоритмы расчёта графиков проведения ремонтных работ железнодорожного пути на перспективу // Интернет-журнал «Науковедение». 2014. №3. С. 127.

Сведения об авторах

Тимченко Вячеслав Сергеевич – аспирант Лаборатории проблем развития транспортных систем и технологий, Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН (ИПТ РАН), Санкт-Петербург, Россия. Тел.: +7-903-093-25-41. E-mail: tim4enko.via4eslav@mail.ru.

Кокурин Иосиф Михайлович – д-р техн. наук, проф., Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН (ИПТ РАН), Санкт-Петербург, Россия. Тел.: +7-921-963-35-87. E-mail: kokyurinim@gmail.com.

THE "BOTTLENECKS" DETERMINATION, LIMITING THE THROUGHPUT OF RAILWAY DIRECTIONS

Timchenko Vyachaslav Sergeevich – Postgraduate Student, Laboratory of Development of transport systems and technologies, Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences (IPT RAS), St.Petersburg, Russia. Phone: +7-903-093-25-41. E-mail: tim4enko.via4eslav@mail.ru.

Kokurin Iosif Mikhailovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences (IPT RAS), St.Petersburg, Russia. Phone: +7-921-963-35-87. E-mail: kokyrinim@gmail.com.

Abstract. The article describes methods of data receiving with using of an existing information systems about time parameters of freight trains movement on the explored rail directions; passing the testing freight trains to determine "bottlenecks" that limited the throughput with the modern traffic volumes and current technical equipment; simulation modelling of rail transportation processes for "bottlenecks" identification with the projected traffic and the development of technical equipment.

Keywords: railway transport, capacity, simulation model.

References

1. Gruzooborot morskikh portov Rossii za 2014 god [Volume of Russian sea ports] Associatsiya morskikh portov Rossii [Association of Russian sea ports]. Available: <http://www.morport.com/rus/news/document1559.shtml> [2015, June 12].
2. Artem'ev I. Ot administrativnykh metodov – k samoregulirovaniyu [From administrative methods – to self-regulation] // RZHD Partner [RZHD Partner]. 2012, no. 8, pp. 36-37.
3. Kokurin I.M., Minyaev S.E. Ocenka tekhniko-ehkonomicheskoy effektivnosti variantov rekonstruktsii zheleznodorozhnoy seti na osnove imitatsionnogo modelirovaniya [Evaluation of technical and economic efficiency of railway network variants reconstruction on the basis of simulation modelling] // Transport. Nauka, tekhnika, upravlenie [Transport. Science, Technology, Management]. 2004, no. 6, pp. 20-26.
4. Kokurin I.M., Kudryavcev V.A. Ocenka propusknoy sposobnosti zheleznodorozhnykh liniy na osnove imitatsionnogo modelirovaniya processov perevozok [Assessment of throughput of railway lines based on simulation modeling of transportation processes] // Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya [Proceedings of Petersburg Transport University]. 2012, no. 2, pp. 18-22.
5. Kokurin I.M., Timchenko V.S. Metody opredeleniya «uzkiykh mest», ograni-chivayushchikh propusknyuyu sposobnost' zheleznodorozhnykh napravleniy [Methods for "bottlenecks" determination which are limited the capacity of a railway directions] // Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya [Proceedings of Petersburg Transport University]. 2013, no. 1 (34), pp. 15-22.
6. Kokurin I.M., Timchenko V.S. Metodologiya uluchsheniya zheleznodorozhnogo transportnogo obsluzhivaniya morskikh torgovykh portov [Methodology of rail transport services improvement for sea trade ports] / Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya Transport Rossii: problemy i perspektivy [International Scientific-Practical Conference Transport of Russia: Problems and Prospects]. SPb: IPT RAN, 2012, pp. 31-35.
7. Kokurin I.M., Timchenko V.S. Algoritm ocenki nalichnoy propusknoy sposobnosti zheleznodorozhnykh uchastkov v usloviyakh planirovaniya «okon» bol'shoj prodolzhitel'nosti [The algorithm for estimating the available throughput of railway sections in terms of planning "windows" long durations] / Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya Transport Rossii: problemy i perspektivy [International Scientific-Practical Conference Transport of Russia: Problems and Prospects]. SPb: IPT RAN, 2013, pp. 71-75.
8. Kokurin I.M., Timchenko V.S. Ispol'zovanie imitatsionnogo modelirovaniya processov perevozok dlya ocenki propusknoy sposobnosti zheleznodorozhnoy linii, obsluzhivayushchej morskoy port [The simulation modeling usage of transport processes for throughput assessing of rail lines serving the seaport] / Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya Transport Rossii: problemy i perspektivy [International Scientific-Practical Conference Transport of Russia: Problems and Prospects]. SPb: IPT RAN, 2014, pp. 164-169.
9. Timchenko V.S. Ocenka perspektivnoy propusknoy sposobnosti uchastkov zheleznodorozhnoy seti s uchedom predstavleniya «okon», na osnove primeneniya imitatsionnogo modelirovaniya processov perevozok [Assessment of the prospective throughput of the rail network, providing "windows" on the basis of simulation modeling of transportation processes] / Molodoj uchenyj [Young Scientist]. 2014, no. 2, pp. 199-204.
10. Kokurin I.M., Timchenko V.S. Ocenka metodom imitatsionnogo modelirovaniya vozmozhnosti osvoeniya prognoziруемых ob'emov perevozok gruzov po zheleznodorozhnoy linii, obsluzhivayushchej morskoy port [Assessment by simulation modeling of development possibility of projected freight volume on rail lines serving the seaport] // Vestnik transporta Povolzh'ya [The Bulletin of Volga Region Transport]. 2014, no. 6, pp. 39-44.
11. Timchenko V.S. Algoritmizatsiya processov ocenki propusknoy sposobnosti zheleznodorozhnykh uchastkov v usloviyakh predstavleniya okon [Algorithmic processes for throughput assessing of railway sections in terms of windows] // Transport Rossijskoj Federatsii [Transport of Russian Federation]. 2013, no. 5(48), pp. 34-37.
12. Timchenko V.S. Algoritmy rascheta grafikov provedeniya remontnykh rabot zheleznodorozhnogo puti na perspektivu [Algorithms of schedules calculation of railway tracks repairs for the future] // Internet-zhurnal «Naukovedenie» [Internet-journal «Naukovedenie»]. 2014, no. 3, p. 127