

ВОЗМОЖНОСТИ КОРРЕКТИРОВКИ ВАГОНПОТОКОВ В АДРЕС МОРСКИХ ПОРТОВ ПО СРЕДСТВАМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

DOI: 10.36724/2072-8735-2022-16-10-36-42

Manuscript received 20 August 2022;

Accepted 30 September 2022

Маловецкая Екатерина Викторовна,
ФГБОУ ВО Иркутский государственный университет
путей сообщения, г. Иркутск, Россия,
Malovetskaya_EV@irgups.ru

Ключевые слова: полигон, прогнозирование
вагонопотоков, имитационное моделирование,
моделирование погрузки, погрузка порт,
показатели работы станции

В представленной работе рассмотрен способ качественной оценки погрузки холдинга ОАО "РЖД" в адрес портов Дальнего Востока, а именно порядок моделирования периодов ограничений посредством объявления конвенций в согласовании заявок грузоотправителей. С целью последующего моделирования погрузки в адрес портов, был осуществлен анализ поступающего вагонопотока. Специфика работы железнодорожного транспорта предполагает значительную неравномерность, как суточную, так и сезонную. В связи с этим поступающий вагонопоток оказывает доминирующее влияние на ритмичность погрузки в портах, поэтому были проанализированы входящие вагонопотоки. На основе статистических данных, были получены параметры распределений. В процессе моделирования при различных возможностях портовой инфраструктуры по перевалке грузов установлено, что при перерабатывающей способности порта до 31 млн. тонн включительно имеет место значительное число случаев объявления конвенционных запрещений, что в перспективе для ОАО "РЖД" предполагает недополучение средств от перевозочных видов деятельности. Однако, при обеспечении равномерной погрузки в направлении портов (без колебаний) потребной перерабатывающей способности порта в 32 млн. тонн в год будет достаточно.

Информация об авторе:

Маловецкая Екатерина Викторовна, к.т.н., доцент кафедры "Управление эксплуатационной работой" ФГБОУ ВО Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Россия

Для цитирования:

Маловецкая Е.В. Возможности корректировки вагонопотоков в адрес морских портов по средствам имитационного моделирования // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Том 16. №10. С. 36-42.

For citation:

Malovetskaya E.V. (2022) Possibilities for adjustment of wagon flows to seaports by means of simulation. T-Comm, vol. 16, no. 10, pp. 36-42. (in Russian)

Введение

Работа порта характеризуется отсутствием ритмичности поступления вагонопотоков. Неравномерность вагонопотоков, связанная с различными факторами, в том числе с сезонностью непосредственно влияет на дальнейшую погрузку в портах [1]. В связи с этим существуют периоды ограничений погрузки – периоды конвенций, позволяющее оптимизировать перерабатывающую способность порта.

Требуется смоделировать [2, 3] случаи (периоды), когда необходимо ограничить погрузку холдинга ОАО «РЖД» в адрес одного из портов Дальнего Востока посредством объявления конвенций или ограничений в согласовании заявок грузоотправителей. Определить оптимальную перерабатывающую способность порта в млн. тонн в год.

Характеристика объекта исследования

Поскольку поступающий вагонопоток оказывает доминирующее влияние на ритмичность погрузки в портах, то целесообразно установить характерные закономерности и зависимости отдельных элементов транспортного потока. Таких как: величина состава поезда, количество групп вагонов в поездах, размеры замыкающей группы и т.д. [4].

Для определения основных зависимостей колебаний вагонопотоков, а также групп вагонов, поступающих под погрузку на предпортовые сортировочные станций, был осуществлен выбор данных статистической отчетности. На основе выборки статистических данных о поступающем вагонопотоке [5], были определены характеристики прибывающего вагонопотока.

Полученные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры прибывающего вагонопотока

Предпортовая станция	Математическое ожидание $M(N_p)$	Дисперсия $d(N_p)$	Среднее квадратичное отклонение $\sigma(N_p)$	Коэффициент вариации $v(N_p)$
1	29.832	213.13	14.57	0.488
2	28.931	208.88	14.47	0.499
3	32.55	400.22	20.09	0.617
4	22.73	162.98	12.76	0.563
5	14.97	147.82	12.18	0.491
6	356.21	1509.31	38.85	0.107
7	77.31	1987.36	44.56	0.579
8	22.15	129.08	11.36	0.534
9	47.28	190.54	13.9	0.27
10	16.67	68.17	8.25	0.493

Был установлен закон распределения мощности назначений – биномиальный. Из теории вероятности известно, что

биномиальный закон распределения может быть аппроксимирован. Данный закон распределения, при достаточно большом числе экспериментов, аппроксимируется в нормальный закон распределения [3]. Тем самым биномиальный закон распределения возможно принять, как предельный [6, 7, 8].

По итогам проведенного исследования и данным характеристикам изменения величины мощности поступающего вагонопотока (табл. 1), было сделано заключение о нормальном законе распределения.

Исходя из вышеописанного, функция распределения может быть выражена

$$F(N_p) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^N \frac{-(N-M)^2}{e^{2 \cdot \sigma^2}} dN \quad (1)$$

С целью оценки близости теоретического распределения к статистическому были осуществлены проверки согласно критерию Колмогорова.

Вероятность того, что наибольшее отклонение $F_n(N_p)$ от $F(N_p)$ превысит заданное число, можно вычислить по формуле [3]

$$P(\lambda) = P\left(\max(F_n(x)) \geq \frac{\lambda}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \sum_{k=-\infty}^{\infty} (-1)^k \cdot e^{-2k^2 \lambda^2} \quad (2)$$

В соответствии с критериями Колмогорова, по известным значениям накопленных частот $F_n(N_p)$ и их сравнением со значениями интегральной функции теоретического распределения $F(N_p)$, были найдены значения модуля разности (G) между ними, по которому в дальнейшем [5] определили значения вероятности $P(\lambda)$.

Расчеты представлены в таблице 2.

Результаты данного исследования показывают, что изменение мощности струй вагонопотоков хорошо аппроксимируется нормальным законом распределения. В результате исследования стало очевидным, что вагонопоток, не охваченный маршрутными перевозками и поступающий на предпортовые станции, составляет более 55% от общей погрузки сети в адрес порта.

Таблица 2

Основные составляющие расчетов

Предпортовая станция	Модуль разности G	λ	Значение вероятности $P(\lambda)$
1	0.1148	0.399	0.9971
2	0.1556	0.518	0.9638
3	0.2105	0.727	0.7113
4	0.1236	0.425	0.9973
5	0.2026	0.703	0.7113
6	0.1554	0.502	0.9638
7	0.1122	0.389	0.9974
8	0.1462	0.507	0.9637
9	0.1855	0.643	0.8645
10	0.1183	0.408	0.9973

Для исключения отрицательных значений интервала времени, возможного при использовании нормального закона распределения случайной величины, был осуществлен переход от нормального закона распределения случайной величины к усеченному нормальному закону распределения [6].

Плотность распределения составит

$$f(x) = \frac{k}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{(t-M)^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

где M_t – математическое ожидание; σ – среднее квадратичное отклонение случайной величины от ее математического ожидания; $k = 1/F_0(M_t/\sigma)$ при $M_t > 2\sigma$ коэффициент k очень близок к единице [9, 14].

В дальнейшем неравномерность прибытия поездов в модели работы станции задавалась усеченным нормальным законом распределения интервалов времени между моментами прибытия поездов.

Методы исследования

Исследование работы рассматриваемой предпортовой железнодорожной станции выполнено методом имитационного моделирования с использования программного обеспечения «Комплекс МСУ» (моделирования станций и участков) разработки АО «НИИАС» (АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт автоматизации, информатизации и связи на железнодорожном транспорте»).

Потребность в исследовании работы станции методом имитационного моделирования вызвана рядом причин, в том числе:

а) ограниченностью железнодорожной инфраструктуры общего пользования (приемо-отправочных путей) и особенностями работы полигона, в границах которого расположена станции (значительные размеры поездопотока в совокупности с действующими ограничениями по инфраструктуре прилегающих направлений);

б) глубокой взаимозависимостью работы порта и железнодорожной станции в условиях выполнения технологических операций по подаче, уборке и подбору групп вагонов для соответствующих причалов;

в) необходимостью точного определения ограничивающих элементов в технологии работы станции и ее инфраструктуре, а также расчета основных качественных и количественных параметров работы;

г) определении исчерпывающего набора адресных мер (технического и технологического характера) по исключению непроизводительных потерь и реализации перспективных объемов перевалки грузов в порту.

Пропускная и перерабатывающая способность основных элементов станции выполнена на основе данных, полученных по результатам моделирования ее работы.

При расчете использовались данные о занятии ресурсов станции (путей, стрелочных групп, маневровых локомотивов) различными типами операций.

Для этого в комплексе моделирования по каждому ресурсу были зафиксированы следующие параметры:

– категории (типы) объектов, выполняющих операции при нахождении на путях или с которыми выполняет работу соответствующий ресурс (маневровый локомотив или станционная бригада);

– количество операций (передвижений) или количество объектов, с которыми выполнены соответствующие операции технологического процесса;

– временные периоды, в которые имеется враждебность операций передвижения – когда ресурс не может быть использован.

Расчет пропускной и перерабатывающей способности выполнен для элементов, которые в наибольшей степени оказывают влияние на устойчивость технологического процесса по перевалке грузов.

Имитационная модель

Основой любой цифровой модели, разрабатываемой в комплексе имитационного моделирования (в данном случае в комплексе МСУ), является цифровая топологическая модель исследуемого объекта (иначе – инфраструктурная модель), включающая в себя схематический план станции, длины участков путей из масштабного плана, продольные профили путей, а также данные по расположению устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (изолирующие стыки, светофоры).

Источниками этой информации служит техническо-распорядительный акт железнодорожной станции (ТРА) (приложения к ТРА станции – схематический и масштабный планы), а также Инструкции о порядке обслуживания и организации движения на путях необщего пользования и путях, переданных в ведение функциональных филиалов ОАО «РЖД» (в том числе паспорта этих подъездных путей). Вместе с данными об электрификации путей и их оснащённости различными устройствами автоматики и телемеханики формируется инфраструктурная модель объекта. Данные по расположению устройств СЦБ взяты из однопутного схематического плана станции (по устройствам СЦБ) и путевых планов прилегающих перегонов (типы светофор, стыков и т.п.).

Технологическая модель объекта в первую очередь формируется за счет данных графика движения поездов, плана формирования и технологического процесса, которые вместе описывают логику поведения объектов внутри модели: времена прибытия и отправления, маршруты передвижения, продолжительность операций обслуживания, условия для выбора тех или иных технологических последовательностей и т.д.

Данные графика движения поездов в цифровой модели станции представляются в виде «точек» входа и выхода (времен прибытия и отправления) поездов на прилегающие участки удаления. План формирования в цифровой модели предназначен для стратификации элементарных групп вагонов по назначениям и направлениям следования и последующего формирования этих групп в составы поездов.

Алгоритм работы с объектами в цифровой модели или, иными словами, технология работы, описывается в виде технологических цепочек – это последовательности связанных между собой технологических операций, описывающих конкретный фрагмент технологического процесса.

Переходы от операции к операции могут быть условными или безусловными. Условные переходы позволяют реализовать диспетчерское управление, тем самым повысив эффективность использования технических средств и увеличив пропускную способность отдельных элементов.

Все операции технологического процесса делятся на два принципиальных класса:

– операции перемещения, к которым относятся любые операции перемещения вагонов или локомотивов по полигону или в рамках станции (например, приём, отправление, роспуск, перестановка и т.п.);

– операции на пути (обслуживания), к которым относятся операции, происходящие на пути и не требующие перемещения (например, осмотр, закрепление, экипировка, погрузка и т.п.)

Все операции технологических цепочек, относящиеся к типу «операции на пути (обслуживания)» имеют следующие параметры:

- привязка к пути (место выполнения операции);
- используемые ресурсы: локомотивы и бригады;
- продолжительность операции;
- условия выполнения операций и условия перехода на другие технологические последовательности (цепочки);
- прочие необходимые данные в зависимости от типа обслуживания.

За определение скоростных параметров движущих объектов и изменение пройденного пути на каждом шаге модельного времени в комплексе МСУ отвечает «сервис» тягового расчета. На основе данных, полученных от сервиса, определяется продолжительность занятия объектов инфраструктуры операциями перемещения (прием и отправление поездов, время на выполнение маневровых операций и т.п.).

Определим величину среднесуточной погрузки в рассматриваемый порт «Н» Дальнего Востока (количество вагонов) на основе статистических данных. По результатам построения прогнозных моделей на основе тренда и сезонности, было установлено, что ожидается рост среднесуточной погрузки на величину 3% к прошлому году. Скорректируем планируемую погрузку на величину 3%.

В итоге среднесуточная погрузка сети в адрес рассматриваемого порта «Н» составит 1376 вагонов. В дальнейшем определим величину суточных колебаний (минимум и максимум) к среднему значению погрузки вагонов назначением в порт «Н». Исходя из экспертной оценки, принимаем, что суточная погрузка колеблется в диапазоне 0,8-1,2.

На основе паспорта о пропускной способности грузовых терминалов порта «Н» определяем возможность порта по перевалки грузов (млн. тонн в год), приводим ее к вагонам, что составляет 1461 вагон. Определяем колебания перерабатывающей способности порта (в зависимости от наличия соответствующих судов и погоды) [10, 11]. Перерабатывающая способность колеблется в интервале от 0,92 до 1,00 (определена экспертно), представлено в таблице 3.

С использованием аппарата Монте-Карло определяем дефицит/профицит перерабатывающей способности порта «Н» в экспериментах (рис. 1).

Решение об ограничении погрузки («да» или «нет») принимается на основе суммы значений данных о профиците/дефиците перерабатывающей способности порта за все предыдущие сутки включая текущую дату. При наличии дефицита перерабатывающей способности, предполагаем, что необходимо объявить ограничение на погрузку вагонов в порт.

В качестве величин, которые моделируются, используем:

- а) посуточную заадресовку вагонов назначением в порт «Н» с учетом суточного колебания;
- б) потенциальное изменение грузооборота в порту в зависимости от заполнения складских мощностей и наличия судов для погрузки (диапазон суточных колебаний перерабатывающей способности порта).

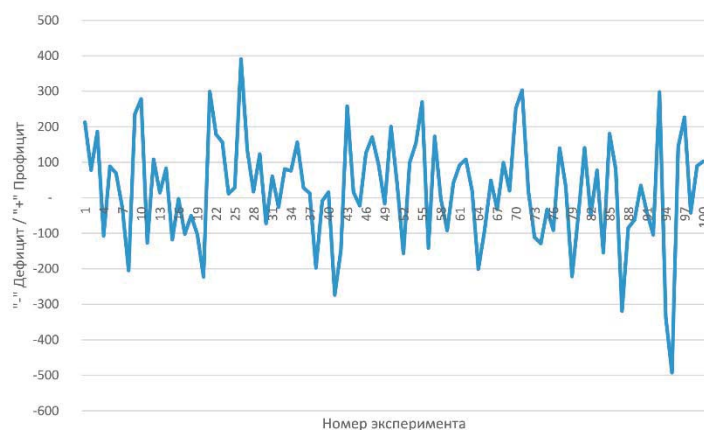


Рис. 1. Дефицит/профицит возможностей порта «Н» в процессе моделирования

При проведении эксперимента и моделировании ситуации при равномерной среднесуточной погрузке нет необходимости объявлять ограничения на погрузку вагонов в порт (рис. 2, 3).

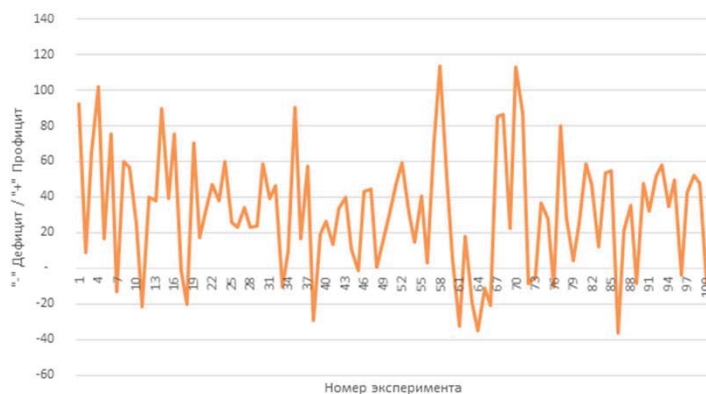


Рис. 2. Дефицит/профицит возможностей порта «Н» при равномерной погрузке

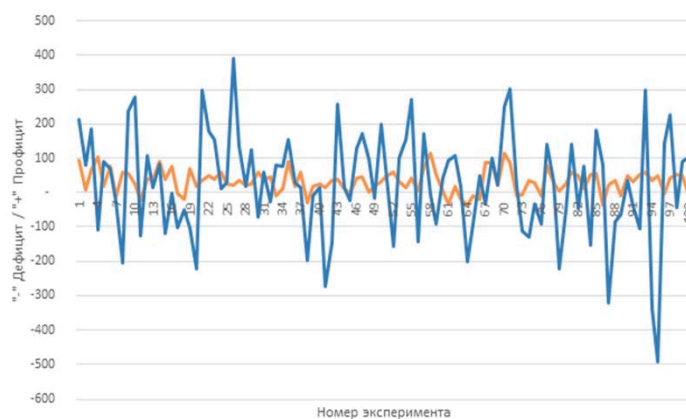


Рис. 3. Дефицит/профицит возможностей порта «Н» в различных условиях моделирования (варианты неравномерной и равномерной погрузки)

Проведем анализ изменения наличной величины перерабатывающей способности порта. Определяем ее оптимальное значение, при котором обеспечится минимальный процент случаев ограничений погрузки в порты (0%).

Таблица 3

Величина суточных колебаний (минимум и максимум) к среднему значению погрузки вагонов назначением в порт «Н»

№ сц.	Суточные колебания погрузки	Погрузка в порт	Суточные колебания перерабатывающей способности порта	Перерабатывающая способность порта	Дефицит/профицит пер. сп-ти порта	Ограничение погрузки
	от 80 до 120%		от 92 до 100%			
1	106%	1 456	99%	1 445	- 11	Да
2	130%	1 794	98%	1 425	- 369	Да
3	116%	1 597	95%	1 392	- 205	Да
4	104%	1 433	93%	1 365	- 68	Да
5	97%	1 332	91%	1 335	- 3	Да
6	111%	1 527	98%	1 438	- 88	Да
7	81%	1 118	94%	1 370	- 252	Да
8	101%	1 394	100%	1 461	- 67	Да
9	104%	1 425	94%	1 372	- 52	Да
10	92%	1 264	98%	1 434	- 170	Да
11	92%	1 261	95%	1 389	- 128	Да
12	105%	1 446	96%	1 409	- 37	Да
13	134%	1 845	95%	1 389	- 455	Да
14	102%	1 407	97%	1 415	- 8	Да
15	97%	1 334	97%	1 418	- 84	Да
16	105%	1 448	98%	1 435	- 14	Да
17	78%	1 077	92%	1 351	- 274	Да
18	115%	1 576	93%	1 365	- 211	Да
19	99%	1 359	93%	1 356	- 4	Да
20	102%	1 404	97%	1 413	- 9	Да
21	91%	1 254	97%	1 412	- 158	Да
22	110%	1 518	99%	1 445	- 73	Да
23	111%	1 532	98%	1 429	- 103	Да
24	93%	1 278	97%	1 412	- 134	Да
25	94%	1 295	92%	1 342	- 47	Да
26	97%	1 335	94%	1 376	- 41	Да
27	96%	1 322	99%	1 441	- 118	Да
28	110%	1 517	92%	1 350	- 167	Да
29	110%	1 514	95%	1 389	- 124	Да
30	108%	1 486	98%	1 428	- 58	Да
31	107%	1 467	92%	1 348	- 119	Да
32	109%	1 502	96%	1 407	- 96	Да
33	99%	1 360	96%	1 404	- 44	Да
34	100%	1 372	100 %	1 461	- 89	Да
35	72%	987	98%	1 434	- 447	Да
36	104%	1 428	99%	1 441	- 12	Да
37	85%	1 172	98%	1 427	- 255	Нет
38	132%	1 815	96%	1 398	- 417	Да
39	119%	1 636	98%	1 425	- 211	Да
40	80%	1 105	95%	1 388	- 283	Да
41	121%	1 664	99%	1 446	- 217	Да
42	115%	1 587	97%	1 413	- 174	Да
43	80%	1 097	96%	1 398	- 301	Да
44	93%	1 286	97%	1 413	- 127	Да
45	91%	1 255	95%	1 390	- 135	Да
46	107%	1 479	98%	1 431	- 48	Да
47	102%	1 406	96%	1 406	- 1	Да
48	118%	1 625	94%	1 369	- 256	Да
49	68%	939	95%	1 393	- 455	Нет
50	118%	1 626	91%	1 324	- 303	Да

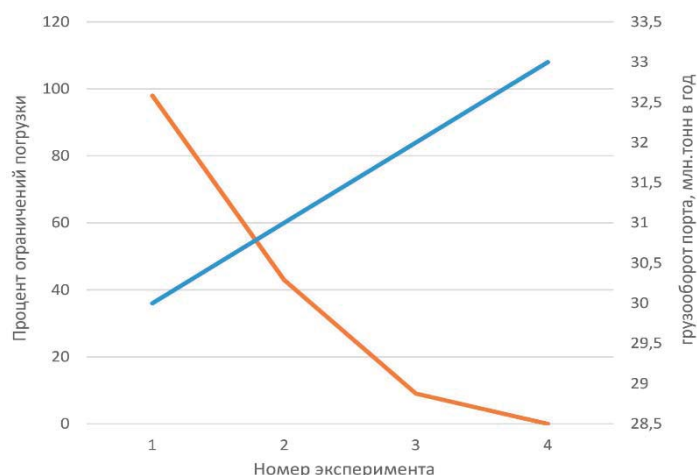


Рис. 4. Зависимость случаев ограничений погрузки от возможностей перевалки грузов в порту

Расчетный грузооборот порта «Н» - 32 000 000 тонн в год. В пределах проводимых экспериментов величину портовой инфраструктуры будем менять (30, 31, 32 и 33 млн. тонн в год соответственно) (рис. 4). Итоги проводимых расчетов представлены в таблице 4.

Таблица 4

Зависимость ограничений погрузки от величины перерабатывающей способности порта

Грузооборот порта	Ограничений погрузки	Ограничений в вагонах	Медиана
30 млн. тонн в год	98%	-8266	-77
31 млн. тонн в год	43%	-66	-6
32 млн. тонн в год	9%	3980	29
33 млн. тонн в год	0%	7627	58

Выводы и предложения

В процессе моделирования при различных возможностях портовой инфраструктуры по перевалке грузов установлено, что при перерабатывающей способности порта до 31 млн. тонн включительно имеет место значительное число случаев объявления конвенционных запретов, что в перспективе для ОАО «РЖД» предполагает недополучение средств от перевозочных видов деятельности.

Потребная перерабатывающая способность составляет 33 млн. тонн в год. При такой способности порта с учетом суточной неравномерности погрузки и возможностей судов число случаев ограничений погрузки будет равно 0.

Однако, при обеспечении равномерной погрузки в направлении портов (без колебаний) потребной перерабатывающей способности порта в 32 млн. тонн в год будет достаточно.

Литература

1. Белозёров О. В. Доклад генерального директора-председателя правления открытого акционерного общества «Российские железные дороги» О.В. Белозерова на итоговом заседании правления ОАО «РЖД» // Железнодорожный транспорт. 2021. №. 3. С. 7-16.

2. Козлов П. А., Колокольников В. С. Расчет и оптимизация полигонов железнодорожного транспорта // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2018. №. 3. С. 113-120.

3. Маловецкая Е. В. Применение переменных нормативов при расчете плана формирования групповых поездов : специальность 05.22.08 "Управление процессами перевозок" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Маловецкая Екатерина Викторовна. Екатеринбург, 2006. 23 с. EDN NKGAT.

4. Маловецкая Е. В., Большаков Р. С. Особенности применения временных рядов для оценки колебаний вагонопотоков по стыковым пунктам железных дорог // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т. 15. № 1. С. 35-40. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-1-35-40.

5. Маловецкая Е. В. Оценка эффективности работы полигонов при допуске частной локомотивной тяги на инфраструктуру общего пользования // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Т. 16. № 4. С. 37-44. DOI 10.36724/2072-8735-2022-16-4-37-44. EDN XREGCB.

6. Маловецкая Е. В. Использование имитационного моделирования с целью подтверждения возможности освоения заданных объемов перевозки // Фёдор Петрович Кочнев – выдающийся организатор транспортного образования и науки в России : Труды международной научно-практической конференции, Москва, 22-23 апреля 2021 года / Отв. редактор А.Ф. Бородин, сост. Р.А. Ефимов. М.: Российский университет транспорта, 2021. С. 225-230. EDN FWWBLD.

7. Маловецкая Е. В., Козловский А. П. Анализ моделей и принципов системного моделирования при построении прогнозных моделей погрузки грузов // International Journal of Open Information Technologies. 2020. Т. 8. №. 12.

8. Муравьев Д. С., Мишуров П. Н., Рахмангулов А. Н. Использование имитационного моделирования для оценки перерабатывающей способности морских портов и обоснования необходимости сооружения «сухого» порта // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2013. №. 4.

9. Мачерет Д. А., Ледней А. Ю. Объемы перевозок – ключевой фактор эффективности развития транспортной инфраструктуры // Экономика железных дорог. 2019. № 4. С. 28-38.

10. Тутов Г. Б. Методика оценки вероятности своевременной доставки груза железнодорожным транспортом // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2013. №. 2 (35).

11. Эрлих А. В., Эрлих Н. В. Имитационное моделирование железнодорожных процессов // Наука и образование транспорту. 2017. №. 1. С. 119-121.

12. Bhardwaj A., Ghosh S., Dutta A. Modeling of multiagent based railway system using BDI logic // International Conference on Future Trends in Computing and Communication. 2013.

13. Bychkov I. et al. Modeling of Railway Stations Based on Queuing Networks // Applied Sciences. 2021. Т. 11. №. 5. С. 2425.

14. Malovetskaya E. V., Bolshakov R. S., Dimov A. V., Byshlyago A. A. Planning of qualitative indexes of railroad operational work in polygon technologies // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region, SibTrans 2019, Moscow, 21-24 мая 2019 года. Moscow: Institute of Physics Publishing, 2020. P. 012041. DOI 10.1088/1757-899X/760/1/012041.

15. Han Z. et al. A review of deep learning models for time series prediction // IEEE Sensors Journal. 2019. Т. 21. №. 6. С. 7833-7848.

16. Lara-Benítez P., Carranza-García M., Riquelme J. C. An experimental review on deep learning architectures for time series forecasting // International Journal of Neural Systems. 2021. Т. 31. №. 03. С. 2130001.

17. Torres J. F. et al. Deep learning for time series forecasting: a survey // Big Data. 2021. Т. 9. №. 1. С. 3-21.

18. Blázquez-García A. et al. A review on outlier/anomaly detection in time series data // ACM Computing Surveys (CSUR). 2021. Т. 54. №. 3. С. 1-33.

POSSIBILITIES FOR ADJUSTMENT OF WAGON FLOWS TO SEAPORTS BY MEANS OF SIMULATION

Ekaterina V. Malovetskaya, Irkutsk State Transport University (IrGUPS), Irkutsk, Russia, Malovetskaya_EV@irgups.ru

Abstract

The presented work considers the method of qualitative assessment of the loading of the railway network of Russian Railways to ports using the example of the Nakhodka port, namely, the procedure for modeling restriction periods by declaring conventions in the coordination of shippers' applications. In order to further simulate loading to ports, an analysis of the incoming wagon flow was carried out. The specifics of the work of railway transport imply significant unevenness, both daily and seasonal. In this regard, the incoming car flow has a dominant effect on the rhythm of loading in ports, therefore, incoming car flows were analyzed. Based on statistics, distribution parameters were obtained. In the process of modeling, with various possibilities of port infrastructure for transshipment of goods, it was established that with the processing capacity of the port up to 31 million tons inclusive, there is a significant number of cases of declaration of conventional prohibitions, which in the future for Russian Railways implies a lack of funds from transportation activities. However, with uniform loading in the direction of ports (without hesitation), the required processing capacity of the port of 32 million tons per year will be sufficient.

Keywords: polygon, forecast model, modeling of loading volumes, station performance indicators, simulation modeling.

References

1. Report of O.V. Belozerov, General Director - Chairman of the Board of the open joint-stock company Russian Railways, at the expanded final meeting of the Board of Russian Railways. *Railway Transport*. 2021. No. 3, pp. 7-16.
2. P.A. Kozlov, V.S. Kolokolnikov (2018). Calculation and optimization of railway landfills. *Bulletin of Rostov State University of Railways*. No. 3, pp. 113-120.
3. E.V. Malovetskaya (2006). Application of variable standards in calculating the plan for the formation of group trains: specialty 05.22.08 "Management of transportation processes": abstract dissertation for the degree of candidate of technical sciences/Malovetskaya Ekaterina Viktorovna. Yekaterinburg. 23 p.
4. E.V. Malovetskaya, A.P. Kozlovsky (2020). Relevance of the application of mathematical modeling in the construction of forecast models of cargo loading to ports of the Far East. *T-Comm*. 2020. Vol. 14. No. 12, pp. 51-57. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-12-51-57.
5. E.V. Malovetskaya (2022). Assessment of the efficiency of landfills when admitting private locomotive traction to public infrastructure. *T-Comm*. Vol. 16. No. 4, pp. 37-44. DOI 10.36724/2072-8735-2022-16-4-37-44. - EDN XREGCB.
6. E.V. Malovetskaya (2021). Using simulation modeling to confirm the possibility of mastering given volumes of transportation. Fedor Petrovich Kochnev - an outstanding organizer of transport education and science in Russia: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Moscow, April 22-23, 2021/Otv. editor A.F. Borodin, co. R.A. Efimov. Moscow: Russian University of Transport, pp. 225-230.
7. Malovetskaya E.V., Kozlovsky A.P. Analysis of models and principles of system modeling in the construction of forecast load loading models [Analiz modelei i principov sistemnogo modelirovaniya pri postroenii prognoznih modelei pogruzki gruzov]//International Journal of Open Information Technologies. - 2020. - T. 8. - No. 12.
8. Muravev D. et al. Multi-agent optimization of the intermodal terminal main parameters by using AnyLogic simulation platform: Case study on the Ningbo-Zhoushan Port [Ispolzovanie imitacionnogo modelirovaniya dlya ocenki pererabativayushei sposobnosti morskikh portov i obosnovaniya neobhodimosti sooruzheniya "suhogo" porta]//International Journal of Information Management. - 2021. - T. 57. - C. 102133.
9. Macheret D. A., Ledney A. Yu. Traffic volumes the key factor in the efficiency of use and development of transport infrastructure [Obemi perevozok - klyuchevoi faktor effektivnosti razvitiya transportnoi infrastruktury]. *Railway Economy*, 2019, no. 4, pp. 28-38.
10. Titov G. B. Methodology for assessing the probability of timely delivery of cargo by rail [Metodika ocenki veroyatnosti svoevremennoj dostavki gruzha zheleznodorozhnym transportom] //Izvestia of St. Petersburg University of Railways. - 2013. - №. 2 (35).
11. Erlich A. V., Erlich N. V. Simulation modeling of railway processes//Science and Education in Transport. - 2017. - №. 1. - Page 119-121.
12. Bhardwaj A., Ghosh S., Dutta A. Modeling of multiagent based railway system using BDI logic //International Conference on Future Trends in Computing and Communication. - 2013.
13. Bychkov I. et al. Modeling of Railway Stations Based on Queuing Networks //Applied Sciences. - 2021. - T. 11. - №. 5. - C. 2425.
14. Planning of qualitative indexes of railroad operational work in polygon technologies / E. V. Malovetskaya, R. S. Bolshakov, A. V. Dimov, A. A. Preina // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Moscow, 2019. - Moscow: IOP Publishing Ltd, 2020. - P. 012041.
15. Han Z. et al. A review of deep learning models for time series prediction //IEEE Sensors Journal. - 2019. - T. 21. - №. 6. - C. 7833-7848.
16. Lara-Ben?tez P., Carranza-Garc?a M., Riquelme J. C. An experimental review on deep learning architectures for time series forecasting //International Journal of Neural Systems. - 2021. - T. 31. - №. 03. - C. 2130001.
17. Torres J. F. et al. Deep learning for time series forecasting: a survey //Big Data. - 2021. - T. 9. - №. 1. - C. 3-21.
18. Bl?zquez-Garc?a A. et al. A review on outlier/anomaly detection in time series data //ACM Computing Surveys (CSUR). - 2021. - T. 54. - №. 3. - C. 1-33.

Information about author:

Ekaterina V. Malovetskaya, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Irkutsk State Transport University (IrGUPS), Irkutsk, Russia