

Применение принципов системного моделирования для построения прогнозных моделей вагонопотоков

Е. В. Маловецкая✉

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉ Malovetskaya_EV@irgups.ru

Резюме

Возможность прогнозирования неравномерности вагонопотоков и погрузки с установлением соответствующих показателей неравномерности – ключевой вопрос в ритмичности работы транспорта. При оценке сезонной неравномерности перевозок с помощью традиционных методик возникают существенные ошибки. В качестве одного из путей решения данной проблемы авторы предлагают усовершенствованный методический инструментарий оценки сезонной неравномерности вагонопотоков, а также погрузки грузов в адрес портов Дальнего Востока. Данная методика основана на построении модели прогноза вагонопотоков, сдаваемых по стыковым пунктам железных дорог и движущихся далее в направлении морских портов с последующим построением математической модели погрузки грузов, на основе которой в последующем можно будет спрогнозировать погрузку на предстоящий год. В представленной работе рассмотрена идентификация моделей временного ряда колебаний вагонопотоков и предложены модели для последующего построения прогноза, а также применен системный подход к решению проблемы прогнозирования объемов вагонопотоков. Необходимо отметить, что на сегодняшний день особо актуальны поставлены вопросы о разработке пошаговой инструкции по принятию решений по оперативной корректировке плана формирования диспетчерским аппаратом станций и региональных дирекций с перечнем порядка действий по выработке предложений и их согласованию. Предложенный инструментарий позволяет разработать модели прогноза для оценки сезонной неравномерности погрузки грузов в направлении морских портов. Все это будет способствовать повышению качества планирования и анализа функционирования и развития железных дорог. Весь спектр мероприятий состоит в возможности построения прогнозных моделей для производственного блока холдинга «РЖД», помимо этого появится возможность актуализации структуры эксплуатационных показателей сети.

Ключевые слова

математическая модель, моделирование погрузки, системный подход, сценарное прогнозирование, неравномерность вагонопотоков, прогнозирование погрузки, прогнозный анализ, модель прогноза

Для цитирования

Маловецкая Е. В. Применение принципов системного моделирования для построения прогнозных моделей вагонопотоков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 3 (71). – С. 171–178. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.3(71).171-178

Информация о статье

поступила в редакцию: 03.09.2021, поступила после рецензирования: 10.09.2021, принята к публикации: 12.10.2021

Application of system modeling principles for the construction of forecast models of car traffic

Е. В. Malovetskaya✉

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉ Malovetskaya_EV@irgups.ru

Abstract

The study of intra-annual dynamics of generalized indicators of railway production activity is an essential part of long-term forecasting, planning and analysis. The development of indicators of uneven operation of the car fleet is one of the important issues of solving the General problem of increasing the rhythmicity of operational work of railway transport. The use of conventional methods for the evaluation of seasonal variations of transportation causes a significant error. As one of the ways to solve this problem, the authors propose an improved methodological tool for assessing the seasonal unevenness of car flow and cargo loading for the ports of the Far East. This method is based on the construction of a car flow forecast mathematical model for cargo loading at the joint points of railways and heading on to the sea ports based on which loading is predicted for the upcoming year. In this work, the principles of mathematical modeling are presented for car flow fluctuations with the application of a systematic approach to solving the problem of predicting the volume of car traffic. It has to be noted that nowadays urgent is the issue of working out a step-by-step instruction for making decisions about fast corrections in the stations' formation plans by dispatch staff and regional directorates with the course of actions for the proposals to be made and approved. By means of scenario planning and expert forecasting, the results were adjusted and the conclusion was made about the need to develop throughput capacities in the busiest sections of the BAM and TRANS-Siberian railway. A comparison of the actual

loading volumes with the predicted values showed that the presented forecast was justified. Deviations of forecast values from real ones are within acceptable limits. The proposed tools can significantly increase the accuracy of estimating seasonal unevenness of cargo loading and forecast the arrival of car traffic to seaports. All this will contribute to improve the quality of planning and analysis of the functioning and development of railways. The full range of measures includes the construction of process models of the production unit of the Russian Railways holding and the preparation of a forecast model of production activity, and can also contribute to the creation of an innovative system of operational indicators of polygons.

Keywords

mathematical model, loading simulation, system approach, scenario forecasting, uneven car traffic, loading forecasting, predictive analysis, forecast model

For citation

Malovetskaya E. V. Primenenie printsipov sistemnogo modelirovaniya dlya postroeniya prognozykh modelej vagonopotokov [Application of system modeling principles for the construction of forecast models of car traffic]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2021, No. 3 (71), pp. 171–178. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.3(71).171-178

Article Info

Received: 03.09.2021, Revised: 10.09.2021, Accepted: 12.10.2021

Введение

Вопросы транзитности вагонопотоков с каждым годом не теряют своей актуальности, особенно с момента перехода инвентарного парка вагонов в частный. Все это требует введения новых инновационных методов прогнозирования с возможностью построения прогноза на годовой период, месяц, сутки и т. д. При этом необходимо уменьшить влияние человеческого фактора на точность принятия управленческих решений.

В существующих условиях развития информационного общества проблема принятия качественных решений среди предложенных альтернатив является одной из приоритетных, поскольку обусловлена значительной семантической нагрузкой для лиц, принимающих решения, так как моделируемые процессы сложно структурированного анализа связаны со многими аспектами управленческой деятельности: анализ, управление, планирование, распределение, рефлексия и др. [1]. Исходя из этого управленческое решение – это форма трудоемкой мыслительной деятельности, направленной на установление программы для последующих действий группы экспертов на основе требований, целей и новых задач с использованием анализа данных и информации.

Прогнозирование объемов вагонопотоков и, как следствие, объемов погрузки, приведет к системному контролю качества принимаемых решений на основе качественной информации, получаемой из прогнозных систем. Поскольку предусматривается дальнейший рост объемов погрузки в порты Дальнего Востока с увеличением грузопотока по Транссибу и БАМу в перспективе до 2030 г. [2], прогноз объема вагонопотока и погрузки является весьма актуальным.

Постановка задачи

Рассмотрим более детально процесс сдачи груженых вагонов по пунктам стыкования железных

дорог с дальнейшим продвижением вагонопотока в порты Дальнего Востока. Процесс приема и сдачи вагонопотоков и поездопотоков по пунктам стыкования железных дорог (ж/д) по сути своей является временной последовательностью по возрастанию моментов сдачи груженых вагонов [3]. При рассмотрении данного процесса с таких позиций, он будет являться точечным. Каждый момент поступления или сдачи вагонов по стыковому пункту своей природе является случайным [4]. Поэтому процессы сдачи и приема поездопотоков по стыкам – точечные случайные процессы.

Процессы работы вагонного парка, поступающего на стыковые пункты, являются случайными процессами. Нас интересует их протекание в течение расчетного периода.

Особый интерес представляют железнодорожные стыковые пункты, расположенные в границах Восточного полигона, самого передового на сети дорог РФ и имеющего выходы к морским портам Дальнего Востока. В связи с этим были проанализированы данные о вагонопотоках, поступающих на прием и сдачу на междорожные стыковые пункты на Дальневосточной ж/д – стык Архара, Забайкальской ж/д – стык Петровский завод, Восточно-Сибирской ж/д – стык Тайшет, Красноярской ж/д – стык Мариинск.

Для правильного выбора модели прогноза необходимо провести исследование временных рядов и установить, какими именно являются исследуемые ряды: стационарными или с содержанием стохастического тренда.

После того, как установлена зависящая связь между исследуемыми наблюдениями, приступают к подбору модели прогноза.

Моделирование сезонной волны выполняется на основе построения аналитической зависимости сезонных колебаний с использованием имитационной модели. Построение аналитической модели вы-

являет основной закон колеблемости данного временного ряда [5].

Аналитико-имитационные модели включают комбинированное представление ранее выделенных моделей математического моделирования [6].

Существенным моментом при построении модели прогноза является то, что параметры и характеристики транспортного процесса изменяются во времени, причем это изменение – случайный процесс. Методы оценки разброса характеристик процесса применяются к выборке значений, которые принимает наблюдаемая характеристика вне зависимости от времени их появления [7].

Большое значение имеют математические методы анализа динамических (временных) рядов. Главная задача математического анализа динамических рядов показателей транспорта – определение изменений, происходящих в данном явлении и вычисление направления, скорости и интенсивности этого изменения, т. е. сжатое описание характерных особенностей ряда [8].

Временные ряды транспортных процессов на железнодорожном транспорте, которым присущи сезонные колебания, можно представить в виде следующей аддитивной модели:

$$y_t = f(x_t) + z_t + w_t + \gamma_t$$

либо мультипликативной модели

$$y_t = f(x_t) \cdot z_t \cdot w_t \cdot \gamma_t,$$

где $f(x_t)$ – основная тенденция (тренд) развития показателя; w_t – циклические колебания; z_t – внутригодовые колебания (сезонные волны); γ_t – случайная компонента, характеризующая отклонение индивидуальных значений показателя от тренда и имеющая вероятностный характер.

Величину γ_t точно определить нельзя. Можно только с определенной вероятностью утверждать, что вычисленные по детерминированной зависимости оценки [9] показателей будут отличаться от истинной на величину

$$\gamma_t = t \cdot \sigma_t / \sqrt{n},$$

где t – число отклонения средней величины от своего отклонения при определенной вероятности (коэффициент доверия); σ_t – среднее квадратичное отклонение случайной величины γ_t .

Начальный этап составления модели прогноза предполагает изучение факторов дальнего окружения. Основная задача анализа факторов – создание информативной компоненты для последующей разработки стратегии.

Достаточно точно воздействие факторов дальнего окружения оценивается с помощью PEST-анализа. Так как PEST-анализ затрагивает внешние факторы, влияющие на работу отрасли [10], деление внешней среды производится по определенной схеме. В ней выделяются:

– макросреда (правительство, экономические события, социально-демографические факторы и

отношения, научно-технический прогресс и факторы, зависящие от природы);

– микросреда (поставщики, акционеры, покупатель, кредиторы, профсоюзы, конкуренты).

Далее, на основе драйверов, был использован метод сценарного прогнозирования.

Метод сценарного прогнозирования дает возможность определить вероятные тенденции развития событий и возможные последствия принимаемых решений с целью выбора наиболее подходящей альтернативы управления [11, 12].

Данный метод предполагает задействование в работе над сценариями прогнозируемой ситуации специалистов разного профиля с диаметрально противоположными взглядами на анализируемую ситуацию.

Сценарий по своему описанию является фундаментом для исходной информации, с опорой на который строится дальнейшая работа по прогнозированию развития ситуации [13–15], в связи с чем любой сценарий в готовом виде должен быть тщательно проанализирован.

Поэтому по итогам построения сценариев было проведено экспертное прогнозирование.

Выводы

На первоначальном этапе составления модели прогноза был осуществлен анализ факторов дальнего и ближнего окружения с определением их влияния (табл. 1).

Для определения факторов ближнего и дальнего окружения, которые могут оказывать влияние на объемы перевозимых грузов в (из) порты Дальнего Востока по дорогам Восточного полигона, были проанализированы фактические объемы перевалки грузов в портах с их разбивкой по видам грузов, основным грузоотправителям и конечным странам получателям.

В качестве факторов дальнего и ближнего окружения были предложены:

– тарифная политика, формируемая Правительством РФ в отношении ОАО «РЖД»;

– спрос на энергоресурсы в странах Юго-Восточной Азии и Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР);

– долгосрочные прогнозы Международного энергетического агентства;

– прогнозы по расширению провозных способностей магистральной (БАМа и Транссиба) и портовой инфраструктуры;

– перспективы развития парка локомотивов и вагонов для освоения требуемых грузопотоков;

– перспективы разработки новых месторождений полезных ископаемых в РФ;

– конкуренция со стороны трубопроводного транспорта (для доставки газа и нефти в страны АТР).

На основе вероятности возникновения и степени влияния для перевозок по железным дорогам Восточного полигона определены два драйвера [16–18], оказывающее наибольшее влияние на формирование грузовой базы:

1. Увеличение ежегодного спроса на российский уголь в Индии и Южной Корее на 4 % к 2027 г.;

2. Строительство железной дороги общего пользования Элегест – Кызыл – Курагино к 2025 г.

По итогам сценарного планирования [19], была проведена очистка ряда от сезонной компоненты и найдена функция тренда (рис. 1).



Рис. 1. Очищенный ряд от сезонности и функция тренда

Fig. 1. Cleared series from seasonality and trend function

Извлечение сезонности [20, 21] будет осуществляться методом центрированной скользящей средней, так как величина погрузки вагонов в порты Дальнего Востока имеет явный тренд на возрастание

[22, 23]. Так как для извлечения сезонности необходимы данные за парное число лет, был взят период 2015–2018 гг. Полученная модель представлена на рис. 2.



Рис. 2. Фактические значения и модель (в том числе прогноз на 2019 г.)

Fig. 2. Actual data and model (including forecast for 2019)

Выполнена корректировка результатов прогнозирования на основе экспертных данных [24, 25]. Эксперты выбраны из числа руководителей дирекции управления движением. Каждому из экспертов определен вес на основе опыта работы в сфере грузовых перевозок, общей информированности о предмете исследования, личной самооценки.

Экспертами для каждого из сценариев даны прогнозные величины изменения погрузки грузов в направлении портов Дальнего Востока.

Для каждого из сценариев на основе экспертного прогноза определены средневзвешенные величины изменения погрузки на период до 2023 и 2025 гг. (табл. 2, 3).

По результатам сценарного планирования и стратегического прогнозирования следуют выводы о

Таблица 1. Анализ факторов дальнего окружения (PEST-анализ)

Table 1. Analysis of distant environment factors (PEST Analysis)

Фактор	Позитив / негатив	Вероятность	Значимость	Итоговое влияние
Сохранение стоимости транзитных контейнерных перевозок до 2023 г. (2 700 долл. за 40-футовый контейнер) на основе индекса ERAI (Eurasian Rail Alliance Index)	–	0,6	0,2	0,12
Прогноз по стоимости сжиженного природного газа в перспективе до 2025 г. на уровне 10,5 долл. / МБТЕ	+	0,3	0,8	0,24
Рост стоимости транзитных морских контейнерных перевозок на направлении Азия – Европа к 2025 г. по индексу WCI Drewry до 1 900 долл. за 40-футовый контейнер	+	0,7	0,5	0,35
Рост уровня экономики КНР до 2025 г. на уровне 6,3–6,4 % ежегодно	+	0,7	0,7	0,49
Снижение индекса мировых цен на уголь до 2022 г. до уровня 80 долл. за тонну	+	0,8	0,6	0,48
Увеличение спроса на энергетический уголь в Индии и Южной Корее на 4 % ежегодно до 2027 г.*	+	0,8	0,9	0,72
Увеличение спроса на энергетический уголь в Юго-Восточной Азии на 3,5 % ежегодно до 2027 г.	+	0,8	0,8	0,64

* Главный фактор, являющийся основным драйвером.

Таблица 2. Экспертный прогноз по изменению погрузки в порты до 2023 г., млн т
Table 2. Expert forecast for change of loading to ports 2023, mln tons

Эксперт	Вес	Сценарий			
		1	2	3	4
1	0,875	22	8	5	14
2	0,925	18	8	4	11
3	0,675	23	12	0	10
4	0,725	25	11	6	16
Прогноз	3,2	21,73	9,52	3,06	12,74

Таблица 3. Экспертный прогноз по изменению погрузки в порты до 2025 г., млн т
Table 3. Expert forecast for change of loading to ports 2025, mln tons

Эксперт	Вес	Сценарий			
		1	2	3	4
1	0,875	25	8	3	15
2	0,925	20	10	5	13
3	0,675	24	12	1	12
4	0,725	26	12	6	17
Прогноз	3,2	23,57	10,33	3,84	14,24

Таблица 4. Корректировка результатов прогнозирования на основе экспертных данных
Table 4. Correction of forecast results based on expert data

Год	Месяц	Прогноз по погрузке, млн т	Причина корректировки	Изменение	Суммарное влияние	Погрузка с корректировкой, млн т
2019	1	134 404	Без корректировки	0 %	0 %	134 404
	2	125 498		0 %	0 %	125 498
	3	145 229		0 %	0 %	145 229
	4	138 571	Сокращение импорта Китаям энергетического угля на 2 % со второго квартала 2019 г.	-2 %	-2 %	135 800
	5	140 531		-2 %	-2 %	137 721
	6	139 225		-2 %	-2 %	136 440
	7	141 378		-2 %	-2 %	138 551
	8	139 865	-2 %	-2 %	137 068	
	9	128 863	Завершение строительства второго байкальского тоннеля	8 %	6 %	136 594
	10	136 138		8 %	6 %	144 306
	11	134 938		8 %	6 %	143 034
	12	137 721		8 %	6 %	145 984

необходимости развития пропускных способностей на наиболее загруженных участках. В среднесрочной перспективе это будет ограничивающим фактором в увеличении объемов погрузки в направлении портов Дальнего Востока, в противном случае есть риск не освоить всего объема перевозимых грузов и недополучить прибыль [13].

Выполнена корректировка результатов прогнозирования на основе экспертных данных (табл. 4).

Модель, построенная методом тренда и сезонности, оказалась достаточно точной с наименьшим значением среднеквадратического отклонения. Суммарная погрузка вагонов в порты Дальнего Востока по результатам прогнозирования (на основе модели) составила в 2019 г. 1 642 360 вагонов. Увеличение к уровню 2018 г. – 2 %.

Заключение

По итогам 2019 г., сравнивая реальные объемы погрузки в адрес портов Дальнего Востока, следует вывод, что представленный прогноз оправдался. Отклонения прогнозных значений от реальных находятся в допустимых границах.

Данная модель прогнозирования может быть внедрена в производственный цикл в целях автоматизации процесса прогнозирования объемов погрузки грузов железнодорожным транспортом, осуществляемого центром фирменного транспортного обслуживания в рамках планирования объемов работ и потребности в ресурсах филиалов ОАО «РЖД» на год, квартал, месяц.

Список литературы

1. Бабина О.И. Сравнительный анализ имитационных и аналитических моделей // Имитационное моделирование. Теория и практика : Четвертая Всерос. конф. по имитацион. моделированию и его применению в науке и промышленности. СПб. : Центр технологии судостроения и судоремонта. 2009. С. 73–77.
2. Бурда А.Г., Бурда Г.П. Экономико-математические методы и модели. Краснодар : Кубан. гос. аграр. ун-т., 2015. 178 с.
3. Доклад генерального директора – председателя правления открытого акционерного общества «Российские железные дороги» О.В. Белозерова на расширенном итоговом заседании правления ОАО РЖД // Железнодорожный транспорт. 2018. № 1. С. 4–10.
4. Шаров В.А. Новые риски при реализации единого интегрированного планирования на железнодорожном транспорте общего пользования // Наука и техника транспорта. 2016. № 2. С. 87–93.
5. Набатова Д.С. Математические и инструментальные методы поддержки принятия решений. М. : Юрайт, 2019. 292 с.
6. Маловецкая Е.В. Актуализация порядка расчета плана формирования поездов и уточнения перечня показателей эксплуатационной работы на основе имитационного моделирования с учетом развития полигонных технологий // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 1 (53). С. 184–188.
7. Маловецкая Е.В., Козловский А.П. Актуальность применения математического моделирования при построении прогнозных моделей погрузки грузов в адрес портов Дальнего Востока // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 12. С. 51–57. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-12-51-57.
8. Мачерет Д.А., Ледней А.Ю. Объемы перевозок – ключевой фактор эффективности развития транспортной инфраструктуры // Экономика железных дорог. 2019. № 4. С. 28–38.
9. Волокобинский М.Ю., Пекарская О.А., Рази Д.А. Принятие решений на основе метода анализа иерархий // Вестник финансового университета. 2016. № 2 (92). С. 33–42.
10. Скроба М.В., Маловецкая Е.В. К вопросу об изменении длины гарантийных плеч участков // Инфраструктура и эксплуатация наземного транспорта : материалы междунар. студенч. науч.-практ. конф. Т.1. Нижний Новгород : Науч.-изд. центр «21 век», 2019. С. 255–258.
11. Волкова В.Н., Черненко Л.В., Магер В.Е. Классификация моделей в системном анализе // Науч.-техн. ведомости Санкт-Петербург. гос. политехн. ун-та. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2013. № 3 (174). С. 33–43.
12. Маловецкая Е.В., Большаков Р.С. Особенности применения временных рядов для оценки колебаний вагонопотоков по стыковым пунктам железных дорог // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т. 15. № 1. С. 35–40. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-1-35-40.
13. Звягин Л.С. Применение системно-аналитических методов в области экспертного прогнозирования // Экономика и управление: проблемы, решения. 2017. Т. 3. № 6. С. 145–148.
14. Planning of qualitative indexes of railroad operational work in polygon technologies / E.V. Malovetskaya, R.S. Bolshakov, A.V. Dimov et al. // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 760 012041. DOI:10.1088/1757-899X/760/1/012041.
15. Иванкова Л.Н., Кузнецова Т.Г., Волкова С.Г. Определение потребного технического оснащения станции с учетом колебаний транспортных потоков // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта. 2019. № 15. С. 3–8.
16. Аева М.А., Маловецкая Е.В. Система единого планирования для всех видов транспорта // Инфраструктура и эксплуатация наземного транспорта : материалы междунар. студенч. науч.-практ. конф. Т. 1. Нижний Новгород: Науч.-изд. центр «21 век», 2019. С. 11–16.
17. Погожих Н.И., Софронова М.С., Панасенко Д.П. Способ преобразования множества возможных решений в теории принятия решений // ScienceRise. 2017. №1 (41). С. 77–81.
18. Самотина С.А., Потапова Е.В. Принятие управленческих решений в условиях неопределенности // Инновационная экономика: информация, аналитика, прогнозы. 2011. № 1. С. 3–4.
19. Синчуков А.В. Современная классификация математических моделей // Инновационная наука. 2016. № 3-1. С. 214–215.
20. Сотников Е.А., Шенфельд К.П. Неравномерность грузовых перевозок в современных условиях и ее влияние на потребную пропускную способность участков // Вестник ВНИИЖТ. 2011. № 5. С. 3–9.
21. Спиридонова Е.В. PEST – анализ, как главный инструмент анализа факторов дальнего окружения // Современные научные исследования и инновации. 2017. № 3. С. 400–405.
22. Grigoroudis E., Orfanoudaki E., Zopounidis C. Strategic performance measurement in a healthcare organisation: A multiple criteria approach based on balanced scorecard // Omega. 2012. № 40 (1). P. 104–119.
23. Sehra S.K., Brar D., Singh Y., Kaur D. “Multi criteria decision making approach for selecting effort estimation model // International Journal of Computer Applications. 2012. Vol. 39. №1, January. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1310/1310.5220.pdf>. (access date: 12.03.2021).
24. Sevcenko G. Statybos investicimq sprendimq rizikos valdymas : diss. VGTU leidykla «Technika», 2015. 186 p.
25. Valiris G., Chytas P., Glykas M. Making decisions using the balanced scorecard and the simple multi-attribute rating technique // Performance Measurement and Metric. 2005. DOI:10.1108/14678040510636720.

References

1. Babina O.I. Sravnitel'nyj analiz imitatsionnykh i analiticheskikh modelej [Comparative analysis of simulation and analytical models]. *Imitatsionnoe modelirovanie. Teoriya i praktika: Chetvyortaya Vserossiyskaya konferentsiya po imitatsionnomu modelirovaniyu i ego primeneniyu v nauke i promyshlennosti*. [Simulation modeling. Theory and practice: Fourth All-Russian Conference on Simulation and its Application in Science and Industry]. Saint Petersburg, 2009, pp. 73–77.

2. Burda A.G., Burda G.P. Ekonomiko-matematicheskie metody i modeli [Economic and mathematical methods and models]. Krasnodar: Kubanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet Publ., 2015. 178 p.
3. Doklad general'nogo direktora – predsedatelya pravleniya otkrytogo aktsionernogo obshchestva «Rossijskie zheleznye dorogi» O.V. Belozerova na rasshirennoy itogovom zasedanii pravleniya OAO RZHD [Report of O.V. Belozerov, General Director - Chairman of the Board of the Russian Railways Open Joint Stock Company, at the expanded final meeting of the Board of Russian Railways]. *Zheleznodorozhnyy transport [Railway transport]*, 2018, No. 1, pp. 4–10.
4. Sharov V.A. Novye riski pri realizatsii edinogo integrirovannogo planirovaniya na zheleznodorozhnom transporte obshhego pol'zovaniya [New risks in the implementation of a single integrated planning on public rail]. *Nauka i tekhnika transporta [Science and technology of transport]*, 2016, No. 2, pp. 87–93.
5. Nabatova D.S. Matematicheskie i instrumental'nye metody podderzhki prinyatiya reshenij [Mathematical and instrumental methods for supporting decision-making]. Moscow: Yurajt Publ., 2019. 292 p.
6. Malovetskaya E.V. Aktualizatsiya poryadka rascheta plana formirovaniya poezdov i utochneniya perechnya pokazatelej ehkspluatatsionnoy raboty na osnove imitatsionnogo modelirovaniya s ucheto razvitiya poligonnykh tekhnologiy [Updating the procedure for calculating the train formation plan and refining the list of operational performance indicators based on simulation modeling taking into account the development of poly-racing technologies]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii [Modern knowledge-intensive technologies]*, 2019, No. 1(53), pp. 184–188.
7. Malovetskaya E.V., Kozlovskiy A.P. Aktual'nost' primeneniya matematicheskogo modelirovaniya pri postroenii prognoznnykh modelej pogruzki gruzov v adres portov Dal'nego Vostoka [Relevance of the application of mathematical modeling in the construction of forecast models of cargo loading to ports of the Far East]. *T-Comm – Telekommunikatsii i Transport [T-Comm: Telecommunications and transport]*, 2020, Vol. 14, No. 12, pp. 51–57. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-12-51-57.
8. Macheret D.A., Lednei A.Yu. Ob"emy perezovozok – klyuchevoj faktor ehffektivnosti razvitiya transportnoy infrastruktury [Transportation volumes are a key factor in the efficiency of transport infrastructure development]. *Ekonomika zheleznykh dorog [Railway economics]*, 2019, No. 4, pp. 28–38.
9. Volokobinsky M.Yu., Pekarskaya O.A., Razi D.A. Prinyatie reshenij na osnove metoda analiza ierarkhiy [Decision-making based on the method of analyzing hierarchies]. *Vestnik finansovogo universiteta [Bulletin of the Financial University]*, 2016, No. 2(92), pp. 33–42.
10. Skroba M.V., Malovetskaya E.V. K voprosu ob izmenenii dliny garantnykh plech uchastkov [To the question of changing the length of the guarantee shoulders of the sections]. *Infrastruktura i ehkspluatatsiya nazemnogo transporta: materialy mezhdunarodnoy studencheskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii: v 2 chastyakh [Infrastructure and operation of land transport: materials of the international student scientific and practical conference: in 2 parts]*. Nizhny Novgorod, 2019, Vol. 1, pp. 255–258.
11. Volkova V.N., Chernenkaya L.V., Mager V.E. Klassifikatsiya modelej v sistemnom analize [Classification of models in system analysis]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikatsii. Upravlenie [Scientific and technical statements of St. Petersburg State Polytechnic University. In-format. Telecommunications. Management]*, 2013, No. 3(174), pp 33–43.
12. Malovetskaya E.V., Bolshakov R.S. Osobennosti primeneniya vremennykh ryadov dlya otsenki kolebanij vagonopotokov po stykovym punktam zheleznykh dorog [Features of the use of time series for assessing the fluctuations of car flows at the junction points of railway roads]. *T-Comm – Telekommunikatsii i Transport [T-Comm: Telecommunications and transport]*, 2021, Vol. 15, No. 1, pp. 35–40. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-1-35-40.
13. Zvyagin L.S. Primenenie sistemno-analiticheskikh metodov v oblasti ehkspertnogo prognozirovaniya [Application of systems-analytical methods in the field of expert forecasting]. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya [Economics and management: problems, solutions]*, 2017, Vol. 3, No. 6, pp. 145–148.
14. Malovetskaya E.V., Bolshakov R.S., Dimov A.V., Byshlyago A.A. «Planning of qualitative indexes of railroad operational work in polygon technologies» et al 2020. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 760 012041.
15. Ivankova L.N., Kuznetsova T.G., Volkova S.G. Opredelenie potrebnogo tekhnicheskogo osnashheniya stantsii s ucheto kolebanij transportnykh potokov [Determination of the required technical equipment of the station taking into account fluctuations in traffic flows]. *Sovremennye problemy sovershenstvovaniya raboty zheleznodorozhnogo transporta [Modern problems of improving the operation of railway and non-road transport]*, 2019, No. 15, pp. 3–8.
16. Aeva M.A., Malovetskaya E.V. Sistema edinogo planirovaniya dlya vsekh vidov transporta [Unified planning system for all modes of transport]. *Infrastruktura i ehkspluatatsiya nazemnogo transporta: materialy mezhdunarodnoy studencheskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii: v 2 chastyakh [Infrastructure and operation of land transport: materials of the international student scientific and practical conference: in 2 parts]*. Nizhny Novgorod, 2019, Vol. 1, pp. 11–16.
17. Pogozych N.I., Sofronova M.S., Panasenko D.P. Sposob preobrazovaniya mnozhestva vozmozhnykh reshenij v teorii prinyatiya reshenij [A way of transforming many possible decisions in decision theory]. *ScienceRise*, 2017, No. 1(41), pp. 77–81.
18. Samotina S.A., Potapova E.V. Prinyatie upravlencheskikh reshenij v usloviyakh neopredelennosti [Making managerial decisions in an uncertain environment]. *Innovatsionnaya ehkonomika: informatsiya, analitika, prognozy [Innovative economics: information, analytics, forecasts]*, 2011, No. 1, pp. 3–4.
19. Sinchukov A.V. Sovremennaya klassifikatsiya matematicheskikh modelej [Modern Classification of Mathematical Models]. *Innovatsionnaya nauka [Innovative Science]*, 2016, No. 3-1, pp. 214–215.
20. Sotnikov E.A., Schoenfel K.P. Neravnomenost' gruzovykh perezovozok v sovremennykh usloviyakh i ee vliyanie na potrebnuyu propusknyuyu sposobnost' uchastkov [Uneven freight transportation in modern conditions and its impact on the required throughput of sections]. *Vestnik VNIIZHT [Bulletin VNIIZHT]*, 2011, No. 5, pp. 3–9.
21. Spiridonova E.V. PEST-analiz, kak glavnyy instrument analiza faktorov dal'nego okruzeniya [PEST-analysis as the main tool for the analysis of factors of the far environment]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii [Modern scientific research and innovation]*, 2017, No. 3, pp. 400–405.

22. Grigoroudis E., Orfanoudaki E., Zopounidis C. Strategic performance measurement in a healthcare organisation: A multiple criteria approach based on balanced scorecard. *Omega*, 2012, No. 40(1), pp. 104–119.

23. Sehra S.K., Brar D., Singh Y., Kaur D. Multi criteria decision making approach for selecting effort estimation model. arXiv preprint arXiv:1310.5220. 2013.

24. Sevcenko G. Statybos investicimų sprendimų rizikos valdymas: Diss. VGTU leidykla “Technika”. 2015. 186 p.

25. Valiris G., Chytas P., Glykas M. Making decisions using the balanced scorecard and the simple multi-attribute rating technique. *Performance Measurement and Metric*, 2005.

Информация об авторах

Маловецкая Екатерина Викторовна – канд. техн. наук, доцент кафедры управления эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: Malovetskaya_EV@irgups.ru

Information about the authors

Ekaterina V. Malovetskaya – Ph.D. in Engineering Sciences, Associate Professor of the Subdepartment Operational work management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: Malovetskaya_EV@irgups.ru