

# АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ ПОГРУЗКИ ГРУЗОВ В АДРЕС ПОРТОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

DOI: 10.36724/2072-8735-2020-14-12-51-57

Manuscript received 29 July 2020

Accepted 12 October 2020

**Маловецкая Екатерина Викторовна,**  
ФГБОУ ВО Иркутский государственный университет путей  
сообщения, г. Иркутск, Россия, [Malovetskaya\\_EV@irgups.ru](mailto:Malovetskaya_EV@irgups.ru)

**Козловский Алексей Петрович,**  
Центр имитационного моделирования АО "НИИАС",  
Москва, Россия, [a.kozlovskiy@vniias.ru](mailto:a.kozlovskiy@vniias.ru)

**Ключевые слова:** полигоны курсирования,  
неравномерность, коэффициент  
неравномерности перевозок, прогнозирование  
вагонопотоков, моделирование погрузки

В транспортной отрасли одной из важных производственных проблем является сезонная (годовая) неравномерность перевозок. Данная проблема негативно сказывается на работе железнодорожного транспорта, поскольку более высокая неравномерность перевозок означает ограничение их общего объема, который может быть реализован в течение года, а значит, приводит к снижению эффективности использования ресурсов отрасли. 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 погрузки грузов в адрес портов Дальнего Востока. Данная методика основана на построении математической модели погрузки грузов, на основе которой спрогнозирована погрузка на 2019 год. С помощью сценарного планирования и экспертного прогнозирования была проведена корректировка результатов сделан вывод о необходимости развития пропускных способностей на наиболее загруженных участках БАМа и Транссиба. Сравнение реальных объемов погрузки с прогнозными значениями показали, что представленный прогноз оправдался. Отклонения прогнозных значений от реальных находятся в допустимых границах. Предложенный инструментарий позволяет существенно увеличить точность оценки сезонной неравномерности погрузки грузов и осуществить прогноз поступления вагонопотоков к морским портам. Все это будет способствовать повышению качества планирования и анализа функционирования и развития железных дорог. Полный комплекс мероприятий включает в себя построение процессных моделей производственного блока холдинга "РЖД" и составление модели прогноза производственной деятельности, а также может способствовать созданию инновационной системы эксплуатационных показателей полигонов.

## Информация об авторах

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

**Козловский Алексей Петрович**, Начальник отдела технологического проектирования, Центра имитационного моделирования АО "НИИАС", Москва, Россия

## Для цитирования:

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. Том 14. №12. С. 51-57

## For citation:

Malovetskaya E.V., Kozlovsky A.P. (2020) Relevance of the application mathematical modelling for forecasting cargo loading to Far East ports. T-Comm, vol. 14, no. 12, pp. 51-57. (in Russian)

Исследование внутригодовой динамики обобщающих показателей производственной деятельности железных дорог – существенная часть перспективного прогнозирования, планирования и анализа. Разработка показателей неравномерности работы вагонного парка является одним из важных вопросов решения общей задачи повышения ритмичности эксплуатационной работы железнодорожного транспорта. Решению этого вопроса посвящен целый ряд работ.

В частности, вопросам повышения равномерности работы внутри суток посвящен выпуск 1 трудов МТЭИ, под редакцией В.В. Повороженко, вышедший в 1953 г.

Далее в работах под руководством профессора А.К. Угрюмова [1] в период с 1961-1964 гг. рассматривалось все многообразие факторов, вызывающих неравномерность грузовых перевозок, как массовые случайные процессы, изучение которых составляет предмет теории вероятностей и математической статистики.

Позже В.И. Бодюль детально рассмотрел суточную неравномерность вагонопотоков и ее влияние на транспортный процесс. В работе сделан вывод, что внутрисуточная неравномерность определяется рядом объективных факторов: режимами работы предприятий, перерывами погрузки и выгрузки в выходные и праздничные дни, а также в ночные часы, перерывами в движение при предоставлении «окон» для ремонтных работ и технического содержания постоянных средств, сгущенного подвода поездов к стыковым пунктам перед отчетным часом на 18 ч. неравномерной прокладкой пассажирских поездов в графике движения поездов, наличием временных зон насыщенных пригородными поездами и многим другим [2].

Рассмотрение влияния каждого из перечисленных факторов представляет собой самостоятельную задачу. Чтобы установить степень влияния на неравномерность перевозок каждого фактора потребовалось бы изучить все условия и обстоятельства, связанные с образованием струй вагонопотоков, как по количеству вагонов, так и готовность их к отправлению. Представляется, что изучение вопроса внутрисуточной неравномерности по этой схеме в настоящее время является нереальной.



Рис. 1. Динамика погрузки вагонов в порты Дальнего Востока в 2014-2018 годах

В связи с этим представляет интерес сезонная (годовая) неравномерность вагонопотоков, особенно влияние факторов внешней среды и факторов ближнего окружения на изменение величины погрузки грузов на железных дорогах Восточного полигона в направлении портов Дальнего Востока.

Поэтому в качестве объекта исследования выступила сеть железных дорог ОАО «РЖД», входящих в Восточный

полигон, а в качестве регистрируемых показателей определены: погрузка подразделений в вагонах в адрес портов Дальнего Востока за период 2014-2018 гг.

Требуется спрогнозировать количество погруженных вагонов в порты Дальнего Востока на 2019 год на основе статистических данных о выполненной погрузке в 2014-2018 годах.

Поскольку предусматривается дальнейший рост объемов погрузки в порты Дальнего Востока с увеличением грузопотока по Транссибу и БАМу в перспективе до 2030 года [3], данный прогноз является весьма актуальным.

На первоначальном этапе составления модели прогноза был осуществлен анализ факторов дальнего и ближнего окружения с определением их влияния. Анализ факторов представлен в таблицах 1-2.

Таблица 1

Анализ факторов дальнего окружения. PEST-анализ

Фактор	Позитив/ Негатив	Вероятность	Значимость	Итоговое влияние
	2	3	4	5
Сохранение стоимости транзитных контейнерных перевозок до 2023 года (2700 \$ за 40-футовый контейнер) на основе индекса ERAI (Eurasian Rail Alliance Index)	-	0.	0.2	0.12
Прогноз по стоимости сжиженного природного газа в перспективе до 2025 года на уровне 10,5\$/МБТЕ	+	0.	0.8	0.24
Рост стоимости транзитных морских контейнерных перевозок на направлении Азия - Европа к 2025 году по индексу WCI Drewry до 1900\$ за 40-футовый контейнер	+	0.	0.5	0.35
Рост уровня экономики КНР до 2025 года на уровне 6,3-6,4% ежегодно	+	0.	0.7	0.49
Снижение индекса мировых цен на уголь до 2022 года до уровня 80\$ за тонну	+	0.	0.6	0.48
<b>Увеличение спроса на энергетический уголь в Индии и Южной Корее на 4% ежегодно до 2027 года</b>	<b>+</b>	<b>0.</b>	<b>0.9</b>	<b>0.72</b>
Увеличение спроса на энергетический уголь в Юго-Восточной Азии на 3,5% ежегодно до 2027 года	+	0.	0.8	0.64

Таблица 2

Анализ факторов дальнего окружения.  
Модель 5 сил Портера

Фактор	Позитив/ Негатив	Веро- ятность	Значи- мость	Итоговое влияние
1	2	3	4	5
<b>Создание железнодорожной инфраструктуры общего пользования Элегест - Кызыл - Курагино до 2025 год</b>	+	0.	0.9	0.81
Развитие пропускных способностей магистрального газопровода "Сила Сибири" до 32 млрд. куб.м. в год до 2025 года	-	0.	0.7	0.49
Развитие инфраструктуры стивидорных компаний в портах Ванино-Совгаванского узла с увеличением пропускных способностей до 24 млн.тонн в год к 2025 г.	+	0.	0.7	0.56
Увеличение пропускной способности порта "Восточный" к 2025 г. на 20 млн. тонн в год за счет ввода в эксплуатацию перегрузочного терминала "Север"	+	0.	0.8	0.56
Повышение пропускной способности БАМа и Транссиба в связи с их комплексной реконструкции до 210 млн. тонн в год к 2025 г.	+	0.	0.8	0.64

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;
- 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;
- долгосрочные прогнозы Международного энергетического агентства;
- прогнозы по расширению провозных способностей магистральной инфраструктуры (БАМа и Транссиба) и портовой;
- перспективы развития парка локомотивов и вагонов для освоения предъявляемых 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, оказывающее наибольшее влияние на формирование грузовой базы:

- 1) увеличение ежегодного спроса на российский уголь в Индии и Южной Кореи на 4% ежегодно к 2025 году;
- 2) строительство железной дороги общего пользования Элегест – Кызыл – Курагино к 2025 году.

Далее, на основе вышеуказанных драйверов построены четыре сценария (рис. 2).



Рис. 2. Построение сценариев

Сценарий первый – целевой.

Условия наступления сценария:

- 1) ввод в эксплуатацию железнодорожной инфраструктуры общего пользования Элегест – Кызыл – Курагино к угольным месторождениям;
- 2) стабильный рост спроса на российский уголь в Южной Кореи и Индии на величину более 4%.

Сценарий второй – консервативный.

Условия наступления сценария:

- 1) стабильный рост спроса на российский уголь в Южной Кореи и Индии на величину более 4% ежегодно;
- 2) отсутствие инфраструктуры для освоения грузовой базы Эльгинского угольного месторождения.

Сценарий третий – пессимистичный.

Условия наступления сценария:

- 1) рост спроса на российский уголь в Южной Кореи и Индии на величину менее 4% ежегодно;
- 2) отсутствие инфраструктуры для освоения грузовой базы Эльгинского угольного месторождения.

Сценарий четвертый – оптимистичный.

Условия наступления сценария:

- 1) рост спроса на российский уголь в Южной Кореи и Индии на величину менее 4% ежегодно;
- 2) ввод в эксплуатацию инфраструктуры для освоения грузовой базы Эльгинского угольного месторождения.

Каждый из сценариев был описан как цепочка взаимосвязанных событий. В каждом из сценариев раскрыты необходимые мероприятия по стабилизации поездной обстановки

в среднесрочной и долгосрочной перспективе, описан порядок действий в случае значительного изменения прогнозной величины. Сценарии были проверены на адекватность и реалистичность.

По итогам построения сценариев было проведено экспертное прогнозирование величины изменения погрузки в направлении портов Дальнего Востока. Эксперты были 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, а также 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 годов (табл. 3-4).

Таблица 3

Экспертный прогноз по изменению погрузки в порты 2023 г., млн. тонн

Эксперт	Вес	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3	Сценарий 4
Эксперт №1	0,875	22	8	5	14
Эксперт №2	0,925	18	8	4	11
Эксперт №3	0,675	23	12	0	10
Эксперт №4	0,725	25	11	6	16
<b>Прогноз</b>	<b>3,2</b>	<b>21,73</b>	<b>9,52</b>	<b>3,06</b>	<b>12,74</b>

Таблица 4

Экспертный прогноз по изменению погрузки в порты 2025 г., млн. тонн

Эксперт	Вес	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3	Сценарий 4
Эксперт №1	0,875	25	8	3	15
Эксперт №2	0,925	20	10	5	13
Эксперт №3	0,675	24	12	1	12
Эксперт №4	0,725	26	12	6	17
<b>Прогноз</b>	<b>3,2</b>	<b>23,57</b>	<b>10,33</b>	<b>3,84</b>	<b>14,24</b>

По результатам сценарного планирования и стратегического прогнозирования можно сделать выводы о необходимости развития пропускных способностей на наиболее загруженных участках БАМа и Транссиба. Так как именно это в среднесрочной перспективе будет ограничивающим фактором в наращивании объемов погрузки в направлении портов Дальнего Востока, в противном случае ОАО «РЖД» рискует не освоить всего объема предъявляемых к перевозке грузов и недополучить прибыль [4].

В случае реализации событий по Сценарию 1 и 4 годовое изменение погрузки составит 21,73 и 12,74 млн. тонн к 2023 году (23,57 и 14,24 млн. тонн к 2025 году), поэтому

необходимо также развивать инфраструктуру участка Междуреченск – Тайшет в совокупности с реализацией полигонной модели управления движением поездов, а также гармонизации планов по развитию инфраструктуры общего пользования с инфраструктурой стивидорных компаний в целях исключения оставления поездов от движения по истощающую перерабатывающих способностей портов.

При реализации событий по Сценарию 2 и 3 годовое изменение погрузки составит 9,52 и 3,06 млн. тонн к 2023 году (10,33 и 3,84 млн. тонн к 2025 году), поэтому, Дирекции управления движением необходимо направить усилия по оптимизации расходов по перевозке за счет технологических решений (окончательного перехода на полигонную модель управления движением поездов). В следствии возникновения значительных резервов в провозных способностях магистралей Восточного полигона (Сценарий 3) нужно направить предложения по корректировке программ развития инфраструктуры: развивать ее там, где имеется потенциальная грузовая база. Возрастающие объемы перевозок осваивать также за счет повышения эффективности использования подвижного состава (использования инновационных вагонов и организации тяжеловесного движения) [5].

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. Большое значение при этом имеют математические методы анализа динамических (временных) рядов.

Главной задачей математического анализа динамических рядов показателей транспорта является определение изменений, происходящих в данном явлении, а также вычисление направления, скорости и интенсивности этого изменения, то есть сжатое описание характерных особенностей ряда [6]. Другой задачей анализа динамических рядов состоит в выявлении сезонности.

К сезонным относят такие явления, которые обнаруживают в своем развитии определенные закономерности, более или менее регулярно повторяющиеся из месяца в месяц, из квартала в квартал. Третьей задачей анализа временных рядов является управление процессом, порождающим ряд и прогнозирование на основе знания прошлого.

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

$$y_t = f(x_t) + z_t + w_t + \gamma_t \tag{1}$$

либо мультипликативной модели:

$$y_t = f(x_t) \cdot z_t \cdot w_t \cdot \gamma_t \tag{2}$$

где  $f(x_t)$  – основная тенденция (тренд) развития показателя;

$w_t$  – циклические колебания;

$z_t$  – внутригодовые колебания (сезонные волны);

$\gamma_t$  – случайная компонента, характеризующая отклонение индивидуальных значений показателя от тренда и имеющая вероятностный характер.

Случайную величину  $\gamma_t$ , точно определить нельзя. Можно только с определенной вероятностью утверждать, что вы-

Таблица 5

Основные параметры модели прогноза

MAD	E	MAPE	MPE	TS(max)	TS(min)
2840.48	14 090 510.17	0.02	0.00	7.63	-1.11

численные по детерминированной зависимости оценки показателей будут отличаться от истинной на величину:

$$\gamma_t = \frac{t \cdot \sigma_\gamma}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

где  $t$  – число, показывающее, во сколько раз отличается средняя величина от своего отклонения при определенной вероятности (коэффициент доверия);

$\sigma_t$  – среднее квадратичное отклонение случайной величины  $\gamma_t$ .

При исследовании внутригодовых колебаний необходимо сначала выявить общую тенденцию изменения показателей грузовых перевозок в течение изучаемого периода времени. Тенденция развития динамического ряда определяется путем сглаживания временного ряда. Выбор метода сглаживания временного ряда с целью выявления основной тенденции зависит от фактического состояния явления, которое имело место в течение прошедшего периода [7].

На практике обычно применяют методы скользящей средней, аналитического выравнивания с применением математических функций, способ комбинированного сочетания сглаживания с аналитическим методом выравнивания. Выбор того или иного метода производится в зависимости от поставленной цели исследования и характера исходной информации.

Метод скользящих средних является наиболее известным методом сглаживания временных рядов. Достоинством метода скользящих средних является его наглядность при определении вида тренда и простота в истолковании скользящей средней.

Сфера применения аналитических функций для определения основной тенденции ограничивается случаями сравнительно простого изменения динамического ряда. Для сложного уровня развития динамики экономических процессов, какими являются временные ряды объемных показателей работы железнодорожного транспорта, предлагается целесообразным применять метод взвешенной скользящей средней.

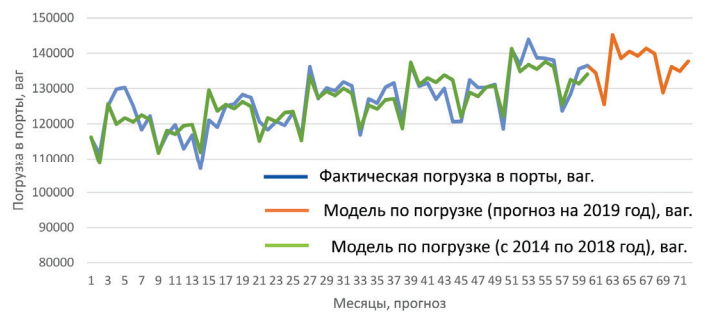


Рис. 4. Фактические значения и модель (в том числе прогноз на 2019 год)

Полученная модель является достаточно точной, так как средняя абсолютная ошибка (MAPE) составляет 2%. Прогноз, сформированный на основе тренда и сезонности, относится к «мягким» из-за наличия случаев выхода трекинга-сигнала за пределы (-4;4), но в пределах (-8;8). Модель проходит проверку на адекватность.

Прогнозная погрузка вагонов в порты согласно построенной модели в 2019 году составит 1 642 360 вагонов. Рост к уровню 2018 года составит 2%.

По результатам построенной модели была выполнена корректировка результатов прогнозирования на основе экспертных данных (табл. 6).

Таблица 6

Корректировка результатов прогнозирования на основе экспертных данных

Год	Ме- сяц	Прогноз по по- грузке	Причина кор- ректировки	Измене- ние	Суммар- ное влия- ние	Погрузка с корректиров- кой
2019	1	134 04	без коррек- тировки	0%	0	134404
2019	2	125 98		0%	0%	125498
2019	3	145 29		0%	0%	145229
2019	4	138 71	Сокращение импорта Кита- ем энергетиче- ского угля на 2% со второго квартала 2019 года	-2%	2%	135800
2019	5	140 31		-2%	-2%	137721
2019	6	139 25		-2%	-2%	136440
2019	7	141 78		-2%	-2%	138551
2019	8	139 65		-2%	-2%	137068
2019	9	128 63	Завершение строительства второго бай- кальского тон- неля	8%	6	136594
2019	10	136138		8%	6%	144306
2019	11	134938		8%	6%	143034
2019	12	137721		8%	6%	145984

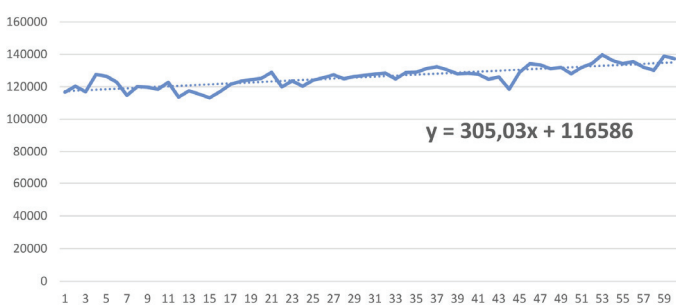


Рис. 3. Очищенный ряд от сезонности и функция тренда

После определение тренда можно приступать к исследованию устойчивых внутригодовых колебаний, то есть сезонности объемных показателей грузовых перевозок.

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

Так как для извлечения сезонности необходимы данные за парное число лет, был взят период за 2015, 2016, 2017, 2018 гг.

Итогом корректировки является составление модели и ряда с экспертной корректировкой, представленной на рисунке 5.

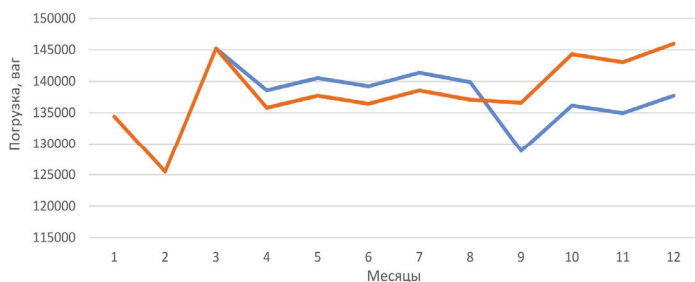


Рис. 5. Сопоставление модели и ряда с экспертной корректировкой

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) составит в 2019 году 1 642 360 вагонов. Увеличение к уровню 2018 года составит 2%.

Учитывая предполагаемые изменения на сырьевых рынках, а также в развитии пропускных способностей сети железных дорог Восточного полигона в предстоящем году [8], прогнозные величины погрузки скорректированы экспертными критериями (снижение погрузки вагонов углем для КНР, начиная со второго квартала 2019 года на 2%, ввод в эксплуатацию второго Байкальского тоннеля в четвертом квартале и последующее увеличение погрузки в порты на 8%). Погрузка с учетом экспертной корректировки, согласно модели, в 2019 году составит 1 660 629 вагонов.

По итогам прошедшего 2019 года, сравнив реальные объемы погрузки в адрес портов Дальнего Востока, можно сделать вывод, что представленный прогноз оправдался. Отклонения прогнозных значений от реальных находятся в допустимых границах. Данная модель прогнозирования мо-

жет быть внедрена в производственный цикл в целях автоматизации процесса прогнозирования объемов погрузки грузов железнодорожным транспортом, осуществляемого ЦФТО в рамках планирования объемов работ и потребности в ресурсах филиалов ОАО "РЖД" на год, квартал, месяц.

### Литература

1. Угрюмов А.К. Неравномерность движения поездов. М.: Транспорт, 1968. 112 с.
2. Бодюл В.И. Оценка эффекта, вызываемого повышением ритмичности грузовых перевозок // Труды ВНИИАС, №4. 2005. С. 30-34.
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. 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. ISSN 2223-9731.
5. Шаров В.А. Новые риски при реализации единого интегрированного планирования на железнодорожном транспорте общего пользования // Наука и техника транспорта, 2016. №2. С. 87-93.
6. Маловецкая Е.В. Актуальность применения имитационного моделирования при расчете плана формирования поездов с учетом развития полигонных технологий // Т-Comm: Телекоммуникации и Транспорт. №4. 2019. ISSN 2072-8735 (Print) ISSN 2072-8743 (Online) DOI 10.24411/2072-8735-2018-10261.
7. 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. URL: <http://top-technologies.ru/ru/article/view?id=37384> (дата обращения: 15.02.2019)
8. Мачерет Д.А., Ледней А.Ю. Объемы перевозок – ключевой фактор эффективности развития транспортной инфраструктуры // Экономика железных дорог. 2019. № 4. С. 28-38.

## RELEVANCE OF THE APPLICATION MATHEMATICAL MODELLING FOR FORECASTING CARGO LOADING TO FAR EAST PORTS

**Ekaterina V. Malovetskaya**, Irkutsk State Transport University (IrGUPS), Irkutsk, Russia, [Malovetskaya\\_EV@irgups.ru](mailto:Malovetskaya_EV@irgups.ru)  
**Alexey P. Kozlovsky**, Center for Simulation Modeling, JSC NIIAS, Moscow, Russia, [a.kozlovskiy@vniias.ru](mailto:a.kozlovskiy@vniias.ru)

### Abstract

In the transport industry, seasonal (annual) unevenness of transportation is one of the important production problems. This problem negatively affects the work of railway transport. The high unevenness of transportation leads to a limitation of their total volume, which can be implemented during the year and leads to a decrease in the efficiency of using industry resources.

When assessing seasonal unevenness of transportation using traditional methods, significant errors arise. As one of the ways to solve this problem, the authors propose an improved methodological tool for assessing the seasonal unevenness of cargo loading to ports of the Far East. This technique allows you to increase the accuracy of assessing the seasonal unevenness of cargo loading and make a forecast of the arrival of wagons to seaports. All this will contribute to improving the quality of railway planning and analysis and development. A complete set of measures to include the construction of process models of the production unit of the Russian Railways holding and the compilation of a forecast model for production activities.

**Keywords:** freight handling; freight turnover; transportation irregularity coefficient; train-handling capacity, production and economic efficiency.

### References

1. A.K. Ugryumov (1968). Uneven movement of trains. Moscow: Transport. 112 p.
2. V.I. Bodyul (2005). Assessment of the effect caused by increasing the rhythm of freight transport. *Proceedings of VNIAS*. No. 4, pp. 30-34.
3. 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*. 2018. No. 1. P. 4-10.
4. E.A. Sotnikov, K.P. Schoenfeld (2011). Uneven freight transportation in modern conditions and its impact on the required throughput of sections. *Bulletin VNIIZHT*. No. 5. P. 3-9. ISSN 2223-9731.
5. V.A. Sharov (2016). New risks in the implementation of a single integrated planning for public rail transport. *Transport science and technology*. No. 2. P. 87-93.
6. E.V. Malovetskaya (2019). Relevance of the application of simulation modeling in calculating the train formation plan taking into account the development of landfill technologies. *T-Comm*. No. 4. ISSN 2072-8735 (Print) ISSN 2072-8743 (Online) DOI 10.24411/2072-8735-2018-10261
7. E.V. Malovetskaya (2019). 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 landfill technologies. *Modern knowledge-intensive technologies*. No. 1; URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=37384> (circulation date: 15.02.2019).
8. D.A. Macheret, A.Yu. Ledney (2019). Traffic volumes the key factor in the efficiency of use and development of transport infrastructure. *Railway Economy*, no. 4, pp. 28-38.

### Information about authors:

**Ekaterina V. Malovetskaya**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Irkutsk State Transport University (IrGUPS), Irkutsk, Russia  
**Alexey P. Kozlovsky**, Head of the Technological Design Department, Center for Simulation Modeling, JSC NIIAS, Moscow, Russia