

# Анализ моделей и принципов системного моделирования при построении прогнозных моделей погрузки грузов

Е. В. Маловецкая, А. П. Козловский

## 1. ВВЕДЕНИЕ

**Аннотация**—Исследование внутригодовой динамики обобщающих показателей производственной деятельности железных дорог - существенная часть перспективного прогнозирования, планирования и анализа. Увеличение ритмичности работы железнодорожного транспорта напрямую связана с оценкой неравномерности перевозочного процесса. Возможность прогнозирования неравномерности вагонопотоков, а также неравномерности 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 погрузки грузов в адрес портов Дальнего Востока. Данная методика основана на построении математической модели погрузки грузов, на основе которой спрогнозирована погрузка на предстоящий год. В форме выполненной работы рассмотрены принципы математического моделирования и методы математического исследования, а также применения системного подхода, к решению проблемы прогнозирования объемов вагонопотоков. 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. 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.

Статья получена 10 сентября 2020

Маловецкая Екатерина Викторовна, Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Российская Федерация

(e-mail: Malovetskaya\_EV@irgups.ru).

Козловский Алексей Петрович, Центр имитационного моделирования АО «НИИАС», Москва, Российская Федерация

(e-mail: a.kozlovskiy@vniias.ru).

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. 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, особенно в управленческом аппарате, с возможностью построения прогноза на период года, месяца, суток и т.д. При этом необходимо уменьшить влияние человеческого фактора на точность принятия управленческих решений.

В существующих условиях развития информационного общества проблема формирования 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, такими как: анализ, управление, планирование, распределение, рефлексия и др. [2]. Исходя из чего, управленческое решение - это форма трудоёмкой 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. На сегодняшний день особый интерес вызывает Восточный полигон, как самый инновационный. «Эксплуатационная длина железных дорог восточного полигона составляет 17207 км, в том числе длина электрифицированных линий – 9196 км (53,4%). На полигоне имеется 15 эксплуатационных вагонных депо.

Плечи гарантийного проследования грузовых вагонов составляют до 1300 -1400 км. Перевозочная работа на восточном полигоне характеризуется постоянным увеличением грузооборота, что серьезно усложняет процесс принятия управленческих решений, а это в свою очередь повышает вероятность принятия необоснованных и неточных управленческих решений, что ведёт к увеличению цены ошибок» [4]. 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.

## II. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Поскольку «предусматривается дальнейший рост объемов погрузки в порты Дальнего Востока с увеличением грузопотока по Транссибу и БАМу в перспективе до 2030 года» [5], прогноз объемов вагонопотоков и погрузки 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. 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.

«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 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 [7]. Другой задачей анализа динамических рядов состоит в выявлении сезонности. К сезонным относят такие явления, которые обнаруживаются 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:

$$y_t = f(x_t) + z_t + w_t + \gamma_t \quad (1)$$

либо мультипликативной модели:

$$y_t = f(x_t) \cdot z_t \cdot w_t \cdot \gamma_t \quad (2)$$

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

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

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 [8].

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.

Статистическое исследование сезонности предлагается проводить как в «статическом», так и в «динамических» аспектах. Статический анализ сезонности предполагает постановку следующих задач: численными методами установить сезонные колебания; определить их параметры и характер в конкретных условиях; установить факторы, вызывающие сезонность; найти экономические последствия проявления сезонности; осуществить построение математической модели сезонной волны.

Цель динамического анализа - изучение закономерностей формирования сезонных волн объемных показателей грузовых перевозок и вывод об их эволюции во времени (в течение ряда лет).

Исследование статических и динамических закономерностей сезонности позволит более обоснованно подойти к разработке методов текущего и перспективного прогноза.

“Известно несколько способов исследований сезонных колебаний: метод абсолютных разностей; метод относительных разностей; построение индексов сезонности” [13].

“Первые два способа предполагают нахождение разностей фактических уровней и уровней, найденных при выявлении основной тенденции развития. Применяя способ абсолютных разностей, оперируют непосредственно размерами этих разностей, а при использовании метода относительных разностей определяют отношение абсолютных размеров указанных разностей к выравненному уровню” [14].

“При выявлении основной тенденции используют либо метод скользящей средней, либо аналитическое выравнивание” [14]. “В некоторых случаях можно пользоваться разностью фактических уровней и средним месячным уровнем за год. Вместо относительных разностей за каждый месяц могут быть определены индексы сезонности” [18].

Индексы сезонности являются показателями, характеризующими результаты сравнения фактических уровней данного месяца со среднемесячным уровнем или уровнями, исчисленными при выявлении основной тенденции для того же месяца.

Они могут быть вычислены пятью способами: метод соотношения месячных уровней; метод средней хронологической; метод годового усреднения; способ расчета сезонных волн, базирующихся на определении тенденции методом скользящей средней или методом аналитического выравнивания.

На настоящий момент времени математические модели можно рассматривать, как составную часть любой распространенной системы. Ввиду устойчивой необходимости в качественном анализе процессов и явлений отдельно взятой задачи принятия решений.

На основании чего рассматриваемый системный подход, а конкретно построенный на его базе системный анализ, выступает общей методологией моделирования сложных систем, при исследовании задач принятия решений.

Под моделью понимается некоторая система, исследование в рамках которой служит средством для получения информации об исследуемом объекте [1].

Все модели принято разделять на абстрактные (представление системы, как её образ) и материальные (подобны оригиналу системы), одной из разновидностей абстрактной модели является математическая модель исследования.

Математическая модель - это математическое представление реальности [3]. Математические модели принято разделять на следующие составные виды:

- аналитические модели;
- имитационные модели;
- аналитико-имитационные модели.

Моделирование сезонной волны выполняется на основе построения аналитической зависимости сезонных колебаний с использованием имитационной модели. “Построение аналитической модели выявляет основной закон колеблемости данного временного ряда” [11].

Аналитико-имитационные модели включают в себя комбинированное представление ранее выделенных моделей математического моделирования [9].

Начальный этап составления модели прогноза предполагает изучение факторов дальнего окружения. Основной задачей анализа факторов дальнего окружения является создание информативной компоненты для последующей разработки стратегии.

Достаточно часто воздействие факторов дальнего окружения оценивают с помощью PEST анализа.

Данный метод анализа зачастую используют для оценки основных рыночных тенденции в той или иной отрасли производства. Результаты PEST – анализа используют, с целью определения угроз и возможностей в процессе составления и изучения SWOT – анализа в корпорации.

“PEST – анализ внешней среды предприятия составляется с перспективой обычно на три-пять лет, ежегодно обновляя данные. PEST – анализ часто выполняют как матрицу в виде таблицы или четырех квадратов” [15].

“Суть PEST – анализа в вопросе изучения экономики заключается в необходимости выявить, как на государственном уровне распределяются ресурсы” [15]. Получение данной информации имеет большое значение для работы отрасли. Что касается социальных аспектов, они также важны для PEST – анализа.

“Технологические факторы – это тенденции, появляющиеся в процессе технологического развития. Чаще всего именно они выступают в роли причин, по которым рынок меняется и несет потери” [8].

“Так как PEST – анализ затрагивает внешние факторы, влияющие на работу отрасли” [4], деление внешней среды производится по определенной схеме.

В ней выделяется:

- макросреда (правительство, экономические события, социально-демографические факторы и отношения, научно-технический прогресс и факторы, зависящие от природы);

- микросреда (поставщики, акционеры, покупатели, кредиторы, профсоюзы, конкуренты).

“Из всего количества факторов внимание заостряют на 4 ключевых направлениях, более всего влияющих на работу отрасли” [4]:

- P (Political) – политические факторы. К этой категории относятся факторы в политико-правовом окружении предприятия;

- E (Economic) – экономические факторы. В данной категории ведется рассмотрение факторов экономической ситуации на рынке;

- S (Socio-cultural) – социальные факторы. Стоит обратить внимание на группу факторов культурной и социальной обстановки на рынке.

- T (Technological) – технологические факторы. Данная группа факторов внешней среды позволяет отследить изменения в технологическом прогрессе в той или иной области” [12].

Все компоненты представленной группы, нуждаются в глубоком анализе, поскольку в случае важности технологических процессов, главенствуют именно

технологические изменения, которые способны серьезно изменить сложившееся положение на рынке.

Дале, 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” [12].

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

Данный метод объединяет приемы и методы содержательного и формализованного описания рассматриваемой ситуации, а также конкретные методы построения и изучения дальнейших сценариев развития с использованием современных информационных технологий.

“Под сценарием понимается гипотетическая картина последовательного развития во времени и пространстве событий, представляющих в совокупности эволюцию управляемого объекта в интересующем исследователя разрезе” [12].

“В сценарии в явном виде фиксируются причинно-следственные зависимости параметров, определяющих возможную динамику изменения состояния объекта, действующие факторы и условия, в которых эти изменения будут происходить” [11]. Сценарий представляет собой некий возможный вариант развития тех или иных событий, поскольку строится в рамках гипотез и предположений о будущем.

“Сценарий - это картина, отображающая последовательное детальное решение задачи, выявление возможных препятствий, обнаружение серьезных недостатков, с тем чтобы предрешить вопрос о возможном прекращении начатых или завершении проводимых работ по прогнозируемому объекту. Сценарий, по которому должен составляться прогноз развития объекта или процессов, должен содержать в себе вопросы развития не только науки и техники, но и экономики, внешней и внутренней политики” [12].

Сценарий по своему описанию является фундаментом для исходной информации, опираясь на который, строится дальнейшая работа по прогнозированию развития ситуации. В связи с чем любой сценарий в готовом виде должен быть тщательно проанализирован.

Поэтому по итогам построения сценариев было проведено экспертное прогнозирование. Формализация технико-экономических и управленческих решений осложняется рядом особенностей современного этапа научно-технического прогресса.

Действительность происходящего всегда сложнее даже самых точных математических моделей, а ее развитие опережает формальное познание. Решение любых управленческих задач предполагает непосредственное участие людей. И, как следствие, сам процесс управления всегда предполагает ориентацию не только на числовые данные, но и на обычный здравый смысл.

Практический опыт позволяет сделать вывод, что основные трудности возникают в процессе поиска и в последствии в самом выборе принятого решения.

В связи с этим одна из главных особенностей решения сложных проблем состоит в том, что применение расчетов здесь всегда переплетается с использованием суждений руководителей, ученых, специалистов [19]. Эти суждения позволяют хотя бы частично компенсировать недостаток информации, полнее использовать индивидуальный и коллективный опыт, учесть предположения специалистов о будущих состояниях объектов. “Закономерность развития науки и техники состоит в том, что новые знания, научно-техническая информация накапливаются в течение длительного периода времени. Нередко это накопление идет в скрытой форме в сознании ученых и разработчиков. Они, как никто другой, способны оценить перспективы той области, в которой работают, и предвидеть характеристики тех систем, в создании которых непосредственно участвуют” [6].

Суть метода экспертных оценок состоит в проведении экспертами ситуационно-логического анализа рассматриваемого вопроса с бальной оценкой суждений и формальной обработкой результатов. Полученное таким образом обобщенно-коллективное мнение экспертов принимается как решение вопроса. “Комплексное использование интуиции (неосознанного мышления), логического мышления и количественных оценок с их формальной обработкой позволяет получить эффективное решение проблемы” [6].

При выполнении своей роли в процессе управления эксперты производят две основные функции: формируют объекты (альтернативные ситуации, цели, решения и т.п.) и производят измерение их характеристик (вероятности свершения событий, коэффициенты значимости целей, предпочтения решений и т.п.) [21].

Формирование объектов осуществляется экспертами на основе логического мышления и интуиции. При этом большую роль играют знания и опыт эксперта. Измерение характеристик объектов требует от экспертов знания теории измерений. “Область применения метода экспертных оценок весьма широка:

- 1) составление перечня возможных событий в различных областях за определенный промежуток времени;
- 2) определение наиболее вероятных интервалов времени свершения совокупности событий;
- 3) определение целей и задач управления с упорядочением их по степени важности;
- 4) определение альтернативных (вариантов решения задачи с оценкой их предпочтения;
- 5) альтернативное распределение ресурсов для решения задач с оценкой их предпочтительности;
- 6) альтернативные варианты принятия решений в определенной ситуации с оценкой их предпочтительности” [11].

Именно поэтому стоит применять методологию экспертного прогнозирования. С ее помощью можно анализировать действительно сложные процессы.

Особенностью технологии получения прогнозов путем экспертного прогнозирования является системность этого метода. Он состоит из системно-образующих элементов и подсистем, которые в совокупности способны дать полноценную оценку исследуемому объекту или процессу, особенно в совокупности со статистическими и математическими методами прогнозирования.

### III. РЕЗУЛЬТАТЫ

ОАО «РЖД» - динамически развивающийся холдинг, Восточный полигон—один из главных экспериментальных объектов, реализующий все перспективные направления развития отрасли, в связи с чем выбран в качестве объекта исследования.

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.

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:

**Табл. 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)	-	0.6	0.2	0.12
Прогноз по стоимости сжиженного природного газа в перспективе до 2025 года на уровне 10,5\$/МБТЕ	+	0.3	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	+	0.7	0.5	0.35
Рост уровня экономики КНР до 2025 года на уровне 6,3-6,4% ежегодно	+	0.7	0.7	0.49
Снижение индекса мировых цен на уголь до 2022 года до уровня 80\$ за тонну	+	0.8	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>0.8</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	+	0.8	0.8	0.64

**Табл. 2 Анализ факторов дальнего окружения. Модель 5 сил Портера**

Фактор 1	Позитив/Негатив 2	Вероятность 3	Значимость 4	Итоговое влияние 5
Создание железнодорожной инфраструктуры общего пользования Элегест - Кызыл - Курагино до 2025 год	+	0.9	0.9	0.81
Развитие пропускных способностей магистрального газопровода "Сила Сибири" до 32 млрд. куб. м. в год до 2025 года	-	0.7	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 году	+	0.8	0.7	0.56
Увеличение пропускной способности порта "Восточный" к 2025 году на 20 млн. тонн в год за счет ввода в эксплуатацию перегрузочного терминала "Север"	+	0.7	0.8	0.56
Повышение пропускной способности БАМа и Транссиба в связи с их комплексной реконструкции до 210 млн. тонн в год к 2025 году	+	0.8	0.8	0.64

- 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 Корее на 4% ежегодно к 2025 году;
- 2) строительство железной дороги общего пользования Элегест – Кызыл – Курагино к 2025 году. Далее, на основе вышеуказанных драйверов построены 4 сценария (Рис.2).

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 Корее и Индии на величину более 4%.

Сценарий второй – консервативный.

Условия наступления сценария:

- 1) стабильный рост спроса на российский уголь в Южной Корее 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 Корее 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 Корее 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 поездного обстановки в среднесрочной и долгосрочной перспективе, описан порядок действий в случае значительного изменения прогнозной величины. Сценарии были проверены на адекватность и

**Табл. 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>

исчерпыванию 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

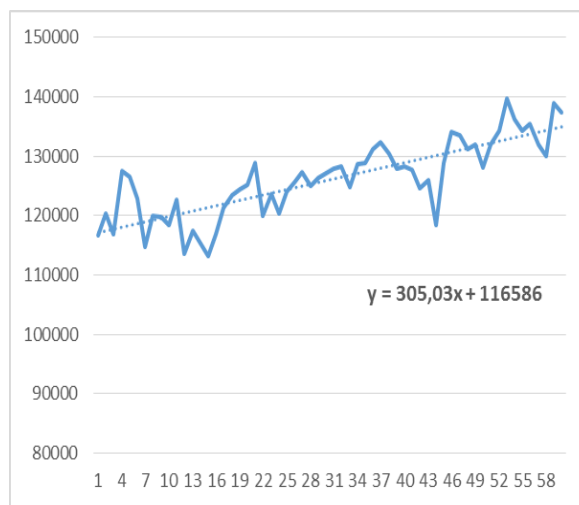
**Табл. 4 Экспертный прогноз по изменению погрузки в порты 2025 г., млн. тонн**

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>

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].

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



**Рис. 1 Очищенный ряд от сезонности и функция тренда**

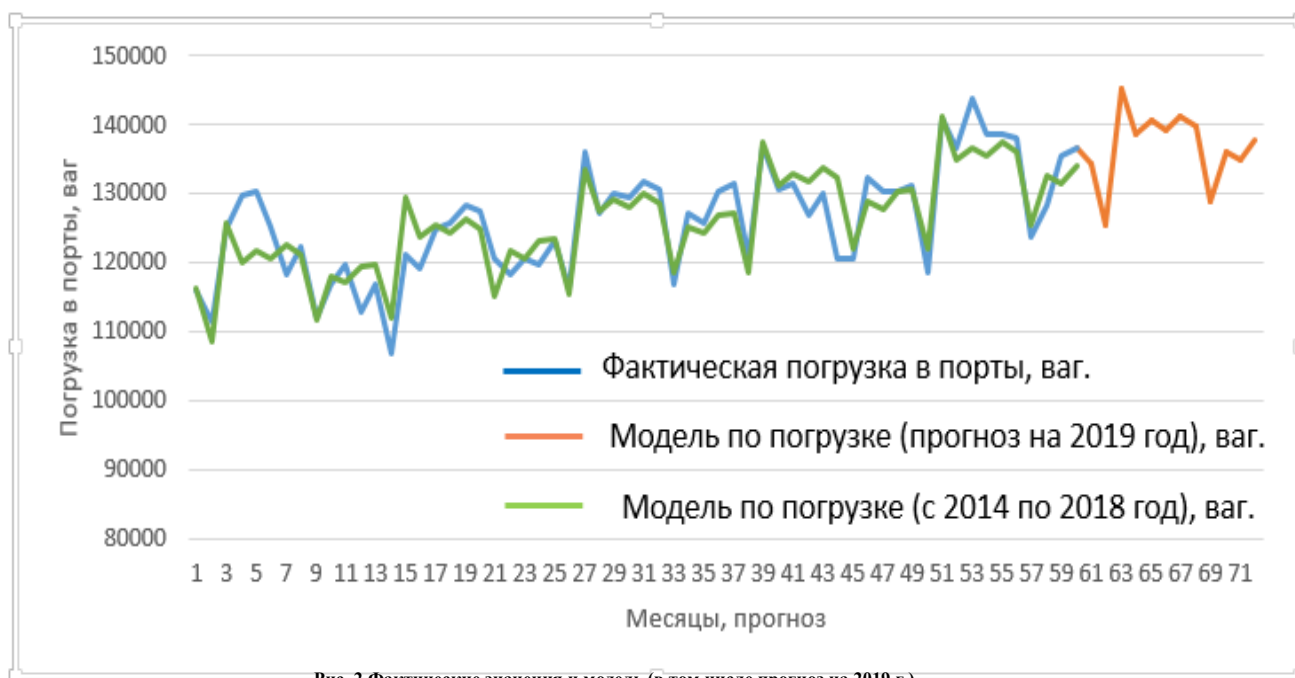


Рис. 2 Фактические значения и модель (в том числе прогноз на 2019 г.)

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

Полученная модель представлена на рисунке 2. По результатам построенной модели была выполнена корректировка результатов прогнозирования на основе экспертных данных. Корректировка результатов прогнозирования на основе экспертных данных представлена в таблице 5.

#### IV. ОБСУЖДЕНИЕ

Неравномерность транспортного процесса одним из основных параметров, который оказывает отрицательное влияние на все элементы эксплуатационной работы отрасли. Объемы погрузки и выгрузки, размеры вагоно- и поездопотоков на железнодорожном транспорте не постоянны, а изменяются по сезонам, месяцам, декадам, суткам, часам.

Колебания величины объема перевозок, обуславливаемое сезонностью производства и потребления ряда видов продукции, развитием производительных сил, неустойчивостью функционирования рынка [9], прерывностью работы предприятий, эксплуатационными и техническими условиями работы самого транспорта, является

Табл. 5 Корректировка результатов прогнозирования на основе экспертных данных

Год	Месяц	Прогноз по погрузке	Причина корректировки	Изменение	Суммарное влияние	Погрузка с корректировкой
2019	1	134404	без корректировки	0%	0%	134404
2019	2	125498		0%	0%	125498
2019	3	145229		0%	0%	145229
2019	4	138571	Сокращение импорта Китаям энергетического угля на 2% со второго квартала 2019 года	-2%	-2%	135800
2019	5	140531		-2%	-2%	137721
2019	6	139225		-2%	-2%	136440
2019	7	141378		-2%	-2%	138551
2019	8	139865		-2%	-2%	137068
2019	9	128863	Завершение строительства второго байкальского тоннеля	8%	6%	136594
2019	10	136138		8%	6%	144306
2019	11	134938		8%	6%	143034
2019	12	137721		8%	6%	145984



специфической особенностью перевозочного процесса, которую необходимо учитывать при организации перевозок.

Поэтому возможность реализации прогнозов по средствам построения математических моделей, является достаточно актуальной и является особо необходимой в управленческом аппарате ОАО «РЖД». Представленная модель является достаточно точной, так как средняя абсолютная ошибка (МАРЕ) составляет 2%. Прогноз, сформированный на основе тренда и сезонности, относится к «мягким» из-за наличия случаев выхода трекинг-сигнала за пределы (-4;4), но в пределах (-8;8). Модель проходит проверку на адекватность.

Возможность использования адекватных прогнозных моделей и мониторинг ситуационно положения, позволят принимать результативные управленческие решения.

#### V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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%.

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 может 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.

#### Библиография

- [1] Бабина О. И. Сравнительный анализ имитационных и аналитических моделей”, *Имитационное моделирование. Теория и практика*. СПб: Центр технологии судостроения и судоремонта (Санкт-Петербург), 2009, С. 73 - 77.
- [2] Бурда А. Г., Бурда Г. П. *Экономико-математические методы и модели*. Кубан. гос. аграр. ун-т. Краснодар, 2015. 178 с.
- [3] 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.
- [4] Волкова В. Н., Черенькая Л. В., Магер В. Е. “Классификация моделей в системном анализе”, *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление*, 2013, №3 (174), С. 33 - 43.
- [5] 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.
- [6] Звягин Л.С. *Применение системно-аналитических методов в области экспертного прогнозирования* // *Экономика и управление: проблемы, решения*. 2017. Т. 3. № 6. С. 145-148.

- [7] Маловецкая Е.В. Актуальность применения имитационного моделирования при расчете плана формирования поездов с учетом развития полигонных технологий // *Журнал «Т-Сотт – Телекоммуникации и Транспорт» №4 2019 г.* ISSN 2072-8735 (Print) ISSN 2072-8743 (Online) DOI 10.24411/2072-8735-2018-10261  
<http://media-publisher.ru/wp-content/uploads/2019/04/Nom-4-2019-sait.pdf>
- [8] 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.
- [9] Мачерет Д. А., Ледней А. Ю. *Объемы перевозок — ключевой фактор эффективности развития транспортной инфраструктуры* // *Экономика железных дорог*. 2019. № 4. С. 28-38.
- [10] Набатова Д. С. *Математические и инструментальные методы поддержки принятия решений*. М.: Издательство Юрайт, 2019, 292 с.
- [11] 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.
- [12] Самотина С. А., Потапова Е. В. “Принятие управленческих решений в условиях неопределенности”, *Инновационная экономика: информация, аналитика, прогнозы*, 2011, №1, С. 3-4.
- [13] Синчуков А. В. “Современная классификация математических моделей”, *Инновационная наука*, 2016, №3-1, С. 214 — 215.
- [14] 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
- [15] Спиридонова Е.В. *PEST – анализ, как главный инструмент анализа факторов дальнего окружения* // *Современные научные исследования и инновации*, 2017, № 3.
- [16] Шаров В.А. *Новые риски при реализации единого интегрированного планирования на железнодорожном транспорте общего пользования* // *Наука и техника транспорта*, 2016, №2 с. 87-93.
- [17] 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), pp. 104-119.
- [18] 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
- [19] 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.
- [20] Sevchenko G. *Statybos investicimq sprendimq rizikos valdymas*: Diss. VGTU leidykla “Technika”, 2015, 186 p.
- [21] Valiris G., Chytas P., Glykas M. “Making decisions using the balanced scorecard and the simple multi-attribute rating technique”, *Performance Measurement and Metric*, 2005.

# Analysis of models and principles of the system modeling in the construction of predictive models of cargo loading

E. Malovetskaya, A. Kozlovskiy

**Annotation** — 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. In the evaluation of seasonal variations of transport using conventional methods 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 cargo loading to the ports of the Far East.

This method is based on the construction of a mathematical model of cargo loading, on the basis of which loading is predicted for the upcoming year. In the form of the completed work, the principles of mathematical modeling and methods of mathematical research, as well as the application of a systematic approach to solving the problem of predicting the volume of car traffic are considered. 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 forecast 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.

## REFERENCES

- [1] Babina O. I. "Comparative analysis of simulation and analytical models," Simulation modeling. Theory and practice. St. Petersburg: Center for Shipbuilding and Ship Repair Technology (St. Petersburg), 2009, pp. 73 - 77.
- [2] Burda A. G., Burda G. P. Economic and mathematical methods and models. Kuban. State agrarian. un-t. Krasnodar, 2015. 178 p.
- [3] Volokobinsky M. Yu., Pekarskaya O. A., Razi D. A. "Decision-making based on the method of analysis of hierarchies," Bulletin of the Financial University, 2016, No. 2 (92), pp. 33 - 42.
- [4] Volkova V.N., Chernenkaya L.V., Mager V.E. "Classification of models in system analysis," Scientific and technical statements of St. Petersburg State Polytechnic University. Computer science. Telecommunications. Management, 2013, No. 3 (174), pp. 33 - 43.
- [5] 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. - S. 4-10.
- [6] Zvyagin L.S. Application of systems-analytical methods in the field of expert forecasting//Economics and management: problems, solutions. 2017. T. 3. NO. 6. pp. 145-148.
- [7] Malovetskaya E.V. Relevance of the application of simulation modeling in calculating the train formation plan taking into account the development of landfill technologies//Journal "T-Comm - Telecommunications and Transport" No. 4, 2019 г. ISSN 2072-8735 (Print) ISSN 2072-8743 (Online) DOI 10.24411/2072-8735-2018-10261 <http://media-publisher.ru/wp-content/uploads/2019/04/Nom-4-2019-sait.pdf>
- [8] Malovetskaya E V Modeling of process of forming of group trains upon transition to tough strings of the schedule. – *Modern technologies. Systems analysis. Modeling.* 2017 No. 1 (53), pp. 184-188.
- [9] Macheret D. A., Ledney A. Yu. Traffic volumes the key factor in the efficiency of use and development of transport infrastructure. Railway Economy, 2019, no. 4, pp. 28-38.
- [10] Nabatova D. S. Mathematical and instrumental methods of decision support. M.: Publishing House Yurite, 2019, 292 p.
- [11] Pogozhich N. I., Sofronova M. S., Panasenko D. P. "A way of transforming many possible decisions in decision theory," ScienceRise, 2017, No. 1 (41), pp. 77 - 81.
- [12] Samotina S. A., Potapova E. V. "Making managerial decisions in conditions of uncertainty," Innovative economics: information, analytics, forecasts, 2011, No. 1, S. 3-4Zvyagin L. S. "Sistemnyy analiz i postroyeniye modeley" [System analysis and model building], Aktual'nyye problemy gumanitarnykh i yestestvennykh nauk, 2014. no10. pp. 146-150.
- [13] Sinchukov A.V. "Modern Classification of Mathematical Models," Innovative Science, 2016, No. 3-1, pp. 214 – 215.
- [14] Sotnikov, E.A., Schoenfeld, K.P. Uneven freight transportation in modern conditions and its impact on the required throughput of sections/E.A. Sotnikov, K.P. Schoenfeld//Bulletin VNIIZHT. - 2011. - No. 5. - S. 3-9. - ISSN - 2223-9731.
- [15] Spiridonova E.V. PEST - analysis as the main tool for the analysis of factors of the distant environment//Modern scientific research and innovation, 2017, No. 3.
- [16] Sharov V.A. New risks in the implementation of a single integrated planning for public rail transport//Transport science and technology, 2016, No. 2 pp. 87-93.
- [17] 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), pp. 104-119.
- [18] 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
- [19] 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.
- [20] Sevchenko G. *Statybos investicimq sprendimq rizikos valdymas*: Diss. VGTU leidykla "Technika", 2015, 186 p.
- [21] Valiris G., Chytas P., Glykas M. "Making decisions using the balanced scorecard and the simple multi-attribute rating technique", Performance Measurement and Metric, 2005.