

На правах рукописи



Врублевский Иван Петрович

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ,
управление и обработка информации
(региональные народно-хозяйственные комплексы)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Иркутск – 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Иркутский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВПО ИрГУПС)

Научный руководитель: Носков Сергей Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры "Информационные системы и защита информации" ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

Официальные оппоненты: **Скрыпник Олег Николаевич**, заместитель директора по учебно-научной работе, доктор технических наук, профессор, Иркутский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет гражданской авиации»

Лемперт Анна Ананьевна, кандидат физико-математических наук, доцент, ФГБУН «Институт динамики систем и теории управления имени В.М.Матросова» СО РАН, заведующий лабораторией «Системный анализ и вычислительные методы»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО "Ангарский государственный технический университет" 665835, Иркутская область, г. Ангарск, ул. Чайковского, д. 60

Защита диссертации состоится «19» сентября 2017 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.070.07 на базе ФГБОУ ВО «Байкальский государственный университет» по адресу: 664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 24, корпус 9, зал заседаний ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Байкальский государственный университет» по адресу: 664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 11, БГУ, корпус 2, аудитория 101, (<http://www.bgu.ru/>).

Отзывы на автореферат присылать по адресу: 664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 11, БГУ, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.070.07.

Автореферат разослан « » 2017 года.

Ученый секретарь диссертационного совета,

кандидат технических наук, доцент



Ведерникова Т. И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Железнодорожный транспорт является важнейшей отраслью страны, играющей ключевую роль в ее успешном развитии. Он представляет собой исключительно сложную для анализа многоуровневую иерархическую неоднородную систему, управление которой представляет собой уникальную проблему, требующую для ее успешного решения значительной непрерывно обновляемой аналитической информации различного характера и масштаба. Значительный, и вместе с тем очень важный, пласт такой информации составляют результаты так называемых дескриптивных прогнозных расчетов относительно будущих значений ключевых показателей функционирования транспортной отрасли. Вербальное представление таких прогнозов может быть выражено вопросом: «Что будет с объектом анализа в будущем, если в настоящее время принять какие-то конкретные решения?».

Именно к ключевым, несомненно, относятся показатели, связанные с грузовыми перевозками, как их определяющие, так и испытывающие их влияние. В свою очередь, эффективность грузовой работы на железнодорожном транспорте в значительной мере зависит от его эксплуатационных параметров (показателей, факторов). Их глубокий научный анализ позволяет сформировать качественные управленческие решения, реализация которых может вызвать существенное повышение указанной эффективности. Значительный вклад в исследование связанных с этим проблем внесли такие ученые, как Зайцев А.А., Мачерет Д.А., Чернигина И.А., Сулакшин Т.С., Терешина Н.П., Филина В.Н., Хусаинов Ф.И. и другие.

Известно, что весьма эффективным инструментом анализа сложных систем любой природы, в частности, технических, является математическое моделирование, поскольку при этом появляется возможность экспериментировать не с «живой» системой, а с ее моделью, перенося полученные расчетные решения на исследуемый объект. Вопросами применения математических методов для анализа эффективности железнодорожной отрасли активно занимались, в частности, Лакин И.К., Юсипов Р.А., Тимохина А.В., Цыпин А.П., Тимофеев Д.Н. Крюков А.П.

Существует много подходов к математическому моделированию систем. Один из наиболее эффективных из них основан на методах регрессионного анализа. Можно назвать много зарубежных и российских ученых, внесших значительный вклад в развитие таких методов. Это, в частности, Джонстон Дж.,

Дрейпер Н., Смит Г., Поллард Дж., Айвазян С.А., Демиденко Е.З., Матросов В.М., Дадаян В.С., Носков С.И.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка математической модели регрессионного типа и реализующего ее программного комплекса для описания динамики эксплуатационных показателей деятельности железнодорожного транспорта на статистическом материале Красноярской железной дороги, а также проведение вариантных среднесрочных прогнозных расчетов.

Для реализации этой цели необходимо решить следующие **задачи**:

- произвести обобщенный анализ деятельности железнодорожного транспорта России и зарубежных стран с учетом предыстории;
- сформировать наборы эксплуатационных показателей деятельности железнодорожного транспорта и факторов, на них влияющих;
- разработать алгоритм построения областей определения регрессионных уравнений;
- построить математическую регрессионную модель динамики этих показателей;
- разработать программный комплекс среднесрочного многовариантного прогнозирования эксплуатационных показателей на основе модели;
- построить вариантный прогноз эксплуатационных показателей Красноярской железной дороги на среднесрочную перспективу.

Объект исследования – эксплуатационные показатели железнодорожного транспорта и определяющие их факторы.

Предмет исследования – модельное описание динамики эксплуатационных показателей с учетом межфакторных взаимодействий.

Методы исследования. Для решения поставленных в работе задач использовались методы системного анализа, математического моделирования, регрессионного анализа, основы разработки современного программного обеспечения.

Научную новизну диссертации составили следующие результаты:

- выделены факторы, в основном характеризующие процесс грузоперевозок на железнодорожном транспорте;

- разработан алгоритм построения области определения многофакторного регрессионного уравнения;

- разработана рекурсивная динамическая регрессионная модель эксплуатационных показателей функционирования железнодорожного транспорта;

- на основе модели разработан программный комплекс среднесрочного прогнозирования значений эксплуатационных показателей;

- проведено многовариантное прогнозирование этих значений для Красноярской железной дороги.

Достоверность полученных результатов обусловлена корректным применением математических методов и соответствия результатов прогнозных расчетов реальным данным.

Практическая значимость результатов работы. Программный комплекс БИВИН и результаты среднесрочного прогнозирования эксплуатационных показателей внедрены в Управлении Красноярской железной дороги. В целом результаты диссертации используются в учебном процессе ИрГУПС.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на 19-ой научно-практической межвузовской конференции КриЖТИрГУПС (2015г.), Международной конференции молодых ученых «Перспектив Свободный-2015», Красноярск, V Международной научно-практической конференции «Образование, наука, транспорт в XXI веке: опыт, перспективы, инновации», (2015г.), Самара-Оренбург, 6-ой (2015г.) и 7-ой (2016г.) Международных научно-практических конференциях «Транспортная инфраструктура Сибирского региона», Иркутск.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК, свидетельство регистрации программы ЭВМ.

Состав и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 121 наименования. Общий объем 118 стр., включая 20 таблиц и 45 рисунков, приложение с актом внедрения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, определяются цели и задачи исследования, научная новизна и практическая ценность предложенных подходов, выносимые на защиту положения, приводится краткий анализ содержания исследуемых вопросов.

В первой главе рассматриваются тенденции последних лет в функционировании железнодорожного транспорта в России и за рубежом с упором на грузовую работу, рассматриваются особенно часто используемые методы оценивания параметров регрессионных моделей, критерии их адекватности, а также подходы к проведению «конкурса» моделей с целью выбора из них наиболее приемлемых.

В п. 1.1 рассматриваются в динамике эксплуатационные показатели деятельности железной дороги и связанные с ними факторы. При этом констатируется, что Россия занимает третье место в мире по грузообороту (после США и Китая), по пассажирообороту - (после Китая и Индии), по перевозкам пассажиров - (после Японии и Индии). Отмечается, что за последние 14 лет суммарный грузооборот в стране возрос на 40%, грузооборот же железнодорожного транспорта – на 60%. При этом доля грузооборота железнодорожного транспорта в суммарном исчислении выросла с 37.7% до 43.2%. По этому показателю железнодорожный транспорт уступает только трубопроводному, доля которого составляет 49.4%.

В п.1.2 рассматриваются общие принципы моделирования сложных систем с позиций анализа данных, дается краткое описание методов наименьших квадратов и модулей с модификациями, а также принятых в регрессионном анализе верификационных критериев.

В п.1.3 описываются способы построения множества альтернативных вариантов модели с последующим выбором лучшего из них на основе применения методов уступок и идеальной точки.

Во второй главе рассматриваются вопросы методического обеспечения регрессионного моделирования динамики эксплуатационных показателей деятельности железнодорожного транспорта.

В п.2.1 решается задача построения области определения линейной регрессионной зависимости (ООР):

$$y_k = \sum_{i=1}^m a_i x_{ki} + \varepsilon_k, \quad k = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где n – число наблюдений (длина выборки); $a_i, i = \overline{1, m}$ - подлежащие оцениванию параметры; $\varepsilon_k, k = \overline{1, n}$ - ошибки аппроксимации.

Прежде всего, сформируем множество, задаваемое границами допустимости значений независимых переменных:

$$E = \left\{ x \in R^m \mid x_i \in [x_i^-, x_i^+], i = \overline{1, m} \right\}.$$

При задании таких границ могут быть использованы формальные и содержательные соображения, справочные материалы, нормативы и т.д.

Для выявления множественных пропорций между независимыми переменными зависимости (1) построим для каждой i -ой переменной на основе минимизации выбранной функции потерь линейную регрессию вида:

$$x_{ki} = \sum_{j=1, j \neq i}^m \beta_j^i x_{kj} + \delta_k^i, \quad k = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}. \quad (2)$$

Отметим, что, в отличие от уравнения (1), ошибки аппроксимации в котором тем лучше, чем они меньше, ошибки аппроксимации регрессий (2) должны быть как можно больше, увеличивая тем самым прогностическую способность модели (1) за счет возможности варьирования значений независимых переменных в рамках более широкого диапазона.

Определим минимальное и максимальное значения ошибок δ^i следующим образом:

$$\delta^{i-} = \min_k \delta_k^i, \quad \delta^{i+} = \max_k \delta_k^i.$$

С учетом этих обозначений ООР может быть сформирована в виде:

$$D = \left\{ x \in E \mid x_i \in \left[\sum_{j=1, j \neq i}^m \beta_j^i x_j + \delta^{i-}, \sum_{j=1, j \neq i}^m \beta_j^i x_j + \delta^{i+} \right], i = \overline{1, m} \right\}.$$

Помимо функции описания ООР множество D имеет важную содержательную интерпретацию. Определим его относительный размер L , задаваемый формулой:

$$L = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{\delta^{i+} - \delta^{i-}}{x_i^*} \times 100\%, \quad \text{где } x_i^* = \max_{k=\overline{1, n}} |x_{ki}|.$$

Тогда L может рассматриваться как еще один критерий адекватности (критерий информативности выборки) уравнения регрессии (1) наряду с рассмотренными в п.1.2.

Далее во-второй главе решается крайне важная при разработке будущей математической модели задача формирования модельного факторного пространства – то есть выделения выходных, эксплуатационных, показателей;

управляющих факторов; а также характеристик, отражающих состояние «внешней среды», которые плохо поддаются оперативному регулированию.

Эксплуатационные показатели:

- y_1 – грузооборот (млн. т.км);
- y_2 – производительность локомотива (т.км);
- y_3 – участковая скорость (км/час);
- y_4 – средний вес грузового поезда (тонн);
- y_5 – простой местного вагона (час);
- y_6 – простой на технической станции (час);
- y_7 – погрузка (тыс. тонн).

Управляющие факторы:

- x_1 – прием груженых вагонов;
- x_2 – прием порожних вагонов;
- x_3 – динамическая нагрузка (т.км/км);
- x_4 – передача по стыкам (поездов);
- x_5 – среднесуточный пробег локомотива (км);
- x_6 – эксплуатируемый парк локомотивов (шт.);
- x_7 – техническая скорость (км/час);
- x_8 – статическая нагрузка (т/ваг.);
- x_9 – средний состав поезда (ваг.);
- x_{10} – простой под одной грузовой операцией (час);
- x_{11} – выгрузка (ваг.);
- x_{12} – рабочий парк вагонов дороги (ваг.);
- x_{13} – оборот грузового вагона (сут.);
- x_{14} – заявленный объем перевозок (тыс т.);
- x_{15} – наличие парка вагонов (тыс шт.).

Внешние показатели:

- z_1 – провозная способность железнодорожной линии (млн.т.км);
- z_2 – валовой внутренний продукт страны (трлн. руб).

Далее в п.2.3 на основе статистической информации по указанным показателям для Красноярской железной дороги за 2000-2014 г.г. приведены результаты первичного анализа данных и построенная на его основе регрессионная модель, которая имеет вид:

$$y_1 = -51137 + 15,65x_1 + 3,67x_2 + 971,8x_3 + 0,14y_7 - 23334,2y_6/y_5 + 47,12z_2/(t^3), \quad (3)$$

$$T = (-3,8; 16,8; 2,1; 3,4; 2,2; -1,7; 1,1), R = 0,998, F = 817, E = 0,64.$$

Здесь используются следующие обозначения:

T – вектор значений критерия Стьюдента для коэффициентов уравнения;

R – критерий множественной детерминации;

F – критерий Фишера;

E – средняя относительная ошибка аппроксимации (в процентах).

t – время (t = 1 для 2000 г.).

$$y_2 = -3053 + 1,8x_5 + 0,39y_4 + 0,0008x_4x_5/t + 52,45y_3, \quad (4)$$

$$T = (-4,1; 2,2; 1,7; 0,83; 3,5), R = 0,96, F = 59, E = 2,3,$$

$$y_3 = 9,98 + 0,064x_4 - 0,033x_6 + 0,81x_7 + 2,8z_1 - 0,017y_5, \quad (5)$$

$$T = (0,71; 1,53; -4,1; 1,99; 0,76; -1,4), R = 0,93, F = 25,6, E = 3,3,$$

$$y_4 = 4321,8z_1. \quad (6)$$

Для этого уравнения значения критериев адекватности не приводятся, поскольку оно является функциональным – коэффициент парной корреляции между переменными y_4 и z_1 в точности равен единице.

$$y_5 = -29,2 + 0,47x_{10} - 2,85z_2 + 0,14x_{15} + (1,86 \cdot 10^{-8})y_7x_{12}, \quad (7)$$

$$T = (-0,76; 0,96; -2,9; 2,0; 0,97), R = 0,96, F = 65,4, E = 1,7,$$

$$y_6 = 0,0047x_6 + 0,0042x_{10} + 4,54x_{13} + 0,000014y_7 - 97,2x_{13}/z_2 - 0,37t, \quad (8)$$

$$T = (0,72; 0,84; 3,2; 0,8; -2,45; -1,56), R = 0,995, F = 317, E = 0,91,$$

$$y_7 = -7018 + 7,15x_6 + 0,97x_{14} + 7669z_1 + 0,0000046x_{11}z_2x_{15}/(t^3), \quad (9)$$

$$T = (-1,7; 2,2; 42; 1,4; 0,86), R = 0,999, F = 2952, E = 0,15.$$

Первичный анализ данных и соображения содержательного характера позволили построить регрессионные соотношения для некоторых управляющих переменных:

$$x_1 = 1358 + 46,7z_2 + 97,7t, \quad (10)$$

$$T = (2,4; 2,0; 2,8), R = 0,97, F = 172, E = 2,7,$$

$$x_2 = 1420 + 0,0028x_1x_4, \quad (11)$$

$$T = (10,9; 8,8), R = 0,86, F = 77, E = 4,7,$$

$$x_3 = -52,7 + 1,71x_8, \quad (12)$$

$$T = (-3,8; 7,6), R = 0,82, F = 59, E = 1,4,$$

$$x_4 = 59,6 + 0,14z_2 + 4,1t, \quad (13)$$

$$T = (5,2; 0,89; 5,9), R = 0,98, F = 285, E = 2,4,$$

$$x_7 = 44,4 + 0,000061x_{14} + 0,075z_2, \quad (14)$$

$$T = (38,2; 2,27; 2,59), R = 0,84, F = 31, E = 0,53,$$

$$x_{14} = -11609 + 2928z_2 - 3167t, \quad (15)$$

$$T = (-1,4; 8,4; -6,1), R = 0,92, F = 66, E = 2,5.$$

При построении регрессионного уравнения для каждой зависимой переменной модели использовались алгоритмы и программные средства, описанные в п.п.1.2 и 1.3 диссертации.

Проанализировав характер вхождения независимых переменных в правые части уравнений для каждого эндогенного фактора, а также значения верификационных критериев, можно сделать вывод о высоком уровне

адекватности регрессионной модели (системы уравнений (3) - (15)), а, значит, о возможности ее успешного использования для решения широкого круга прогнозных задач.

В третьей главе представлены программный комплекс БИВИН среднесрочного прогнозирования значений эксплуатационных показателей функционирования Красноярской железной дороги а также его многовариантные результаты.

Модель (3)–(15) является, динамической, нелинейной, существенно открытой и рекурсивной, то есть допускающей поиск решения путем последовательных, от уравнения к уравнению, расчетов. Ее внутренние (вычисляемые) переменные – $y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, x_1, x_2, x_3, x_4, x_7, x_{14}$, а внешние (задаваемые) – $x_5, x_6, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{15}, z_1, z_2$. Процесс многовариантного прогнозирования состоит в задании в рамках некоторого сценария различных значений внешних переменных и последующем расчете по модели соответствующих значений внутренних переменных.

Программный комплекс «БИВИН» разработан в среде программирования Delphi. Главное окно комплекса содержит четыре перекрывающих друг друга страницы (панели): «Исходные данные», «Структура модели», «Значения входных переменных», «Прогнозные значения выходных переменных».

Панель «Исходные данные» предназначена для добавления или изменения статистических данных. На этой панели расположена таблица с исходными данными и кнопки «Загрузить», «Добавить» и «Сохранить», с помощью которых пользователь может осуществлять манипулирование данными. Загрузка данных возможна из простого текстового файла с расширением .txt.

Панель «Структура модели» содержит структурную форму оцененной регрессионной модели. При желании пользователь может задать свои значения коэффициентов в каждом уравнении. Возможность изменять структуру модели прямо в программе пока не предусмотрена.

Панель «Значения входных переменных» предназначена для формирования прогнозных значений входных переменных. При этом пользователь должен задать прогнозный период, т.е. на сколько лет вперед будет осуществляться прогноз, и выбрать, каким способом будут формироваться значения входных переменных:

- вручную;
- автоматически по модели линейного тренда для каждой переменной;
- автоматически по модели авторегрессии первого порядка для каждой переменной.

Результаты формирования значений входных переменных отображаются в специальной таблице, расположенной в нижней части панели.

Панель «Прогнозные значения выходных переменных» (рис.1) содержит непосредственно таблицу с прогнозами по каждой выходной переменной. При этом для каждого показателя пользователь может вывести на экран график временного ряда, отражающий фактические и прогнозные значения соответствующей переменной.

Выделим основные возможности разработанного программного комплекса:

1. Формирование исходных статистических данных для эксплуатационных, управляющих и внешних показателей функционирования железнодорожного транспорта.
2. Настройка коэффициентов встроенной в комплекс регрессионной модели эксплуатационных показателей железнодорожного транспорта.
3. Прогнозирование эксплуатационных показателей деятельности железной дороги.

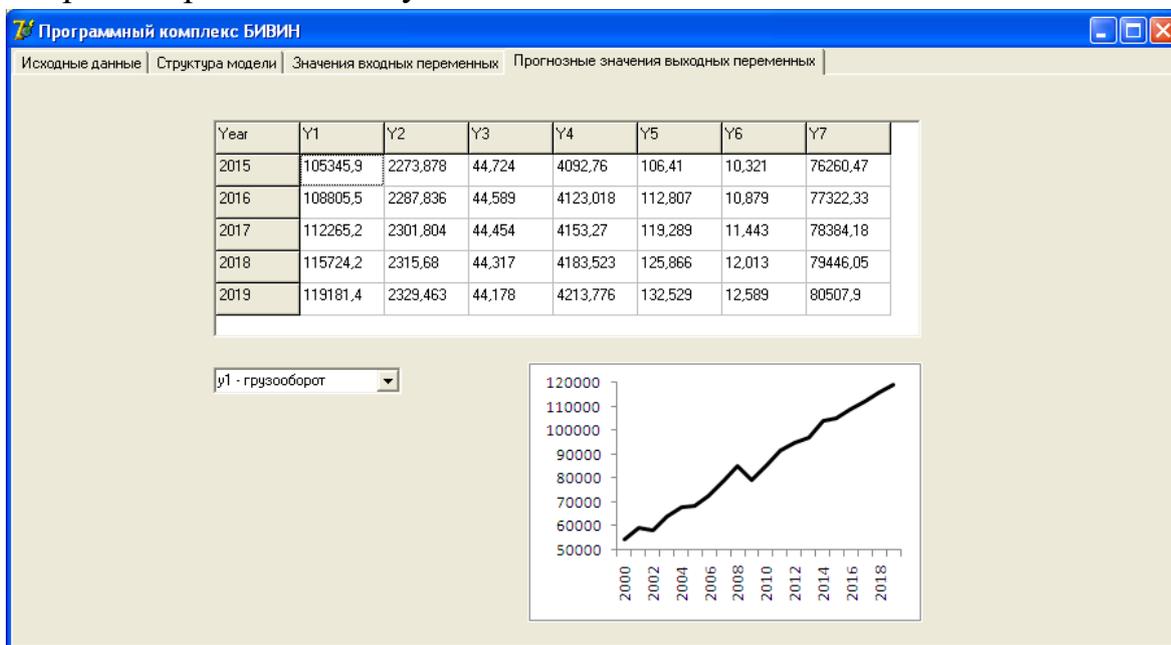


Рис.1. Панель «Прогнозные значения выходных переменных»

В п.3.2 третьей главы представлены результаты многовариантных прогнозных расчетов для эксплуатационных показателей Красноярской железной дороги. При этом были сформированы три сценария будущего развития событий: оптимистичный, пессимистичный и нейтральный. В их основу была положена следующая расчетная схема.

Для каждой входной переменной r строился линейный тренд:

$$r_t = a + bt + \varepsilon_t, t = \overline{1, 15}. \quad (16)$$

Далее для нейтрального прогноза рассчитывались будущие значения r на основе уравнения (16). Для пессимистичного прогноза значение углового коэффициента b уменьшалось на 25% (если r имеет позитивный характер и $b > 0$), а для оптимистичного – увеличивалось на 25%, для нейтрального – не менялось.

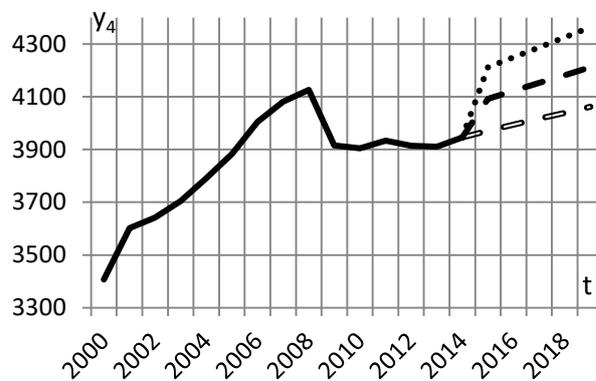
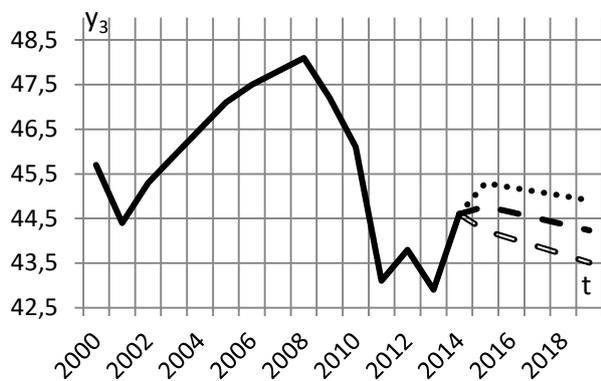
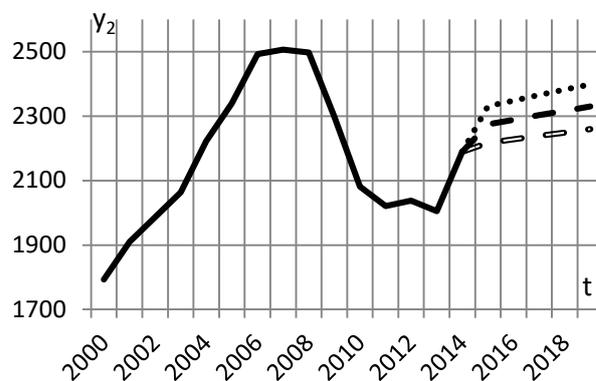
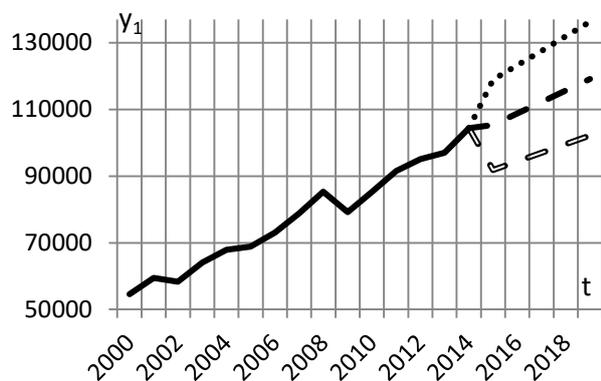
В таблице 3.1 приведены соответствующие тренды.

Для них не приводятся значения критериев адекватности, поскольку это не является принципиальным – главное, что уравнения, аналогичные (1), в любом случае отражают общую для предыстории тенденцию в динамике соответствующей переменной.

Таблица 1. Линейные тренды

$x_1 = 2495,68 + 165,107t$	$x_7 = 49,849 + 0,169t$	$x_{13} = 1,688 + 0,209t$
$x_2 = 1730,77 + 95,728t$	$x_8 = 61,232 + 0,156t$	$x_{14} = 59704,9 + 1055,34t$
$x_3 = 51,367 + 0,373t$	$x_9 = 59,693 + 0,28t$	$x_{15} = 706,371 + 32,104t$
$x_4 = 63,038 + 4,278t$	$x_{10} = 18,798 + 3,973t$	$z_1 = 0,836 + 0,00682t$
$x_5 = 688,048 + 5,260t$	$x_{11} = 1733,14 - 2,518t$	$z_2 = 24,352 + 1,442t$
$x_6 = 296,486 + 12,714t$	$x_{12} = 5003,6 + 2260,6t$	

На рис.2 приведены графики фактических и прогнозных значений эксплуатационных показателей.



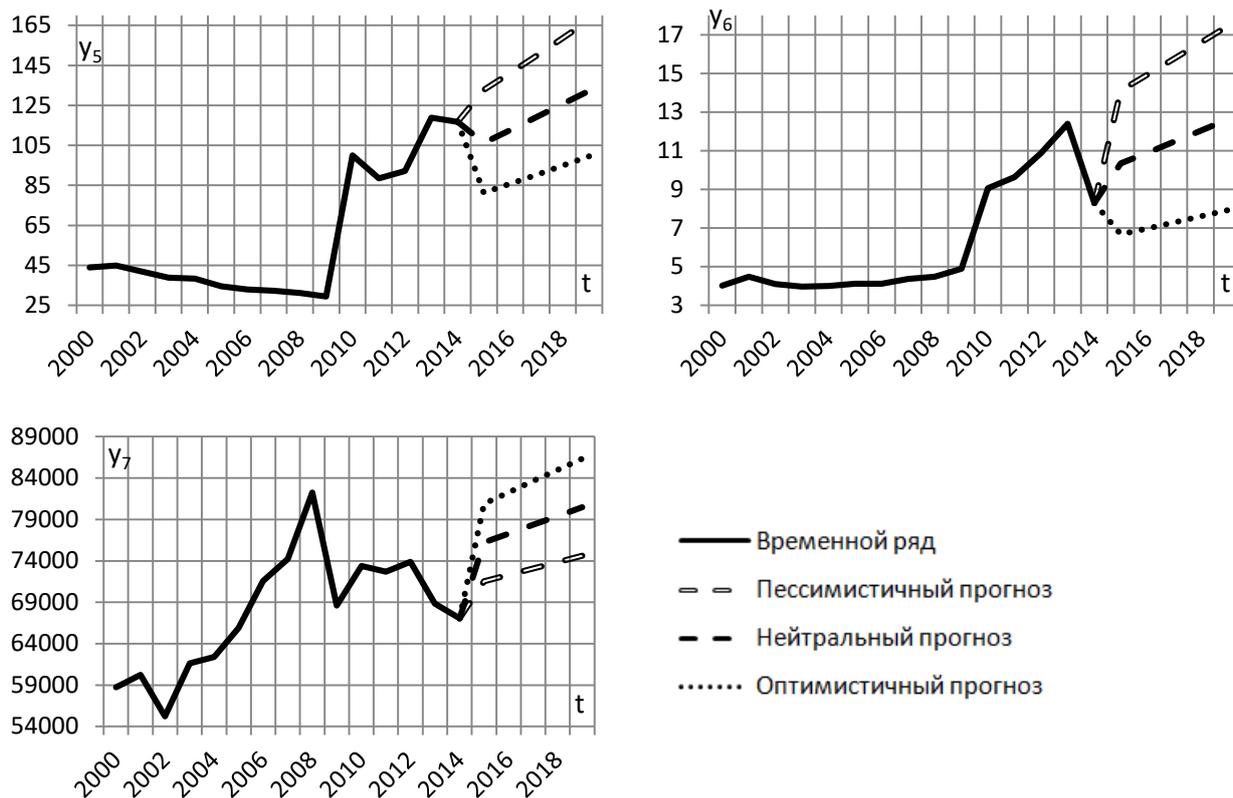


Рис.2. Фактические и прогнозные значения эксплуатационных показателей

Естественный интерес вызывает сравнение прогнозных значений выходных переменных на 2015 год с реальными. Как оказалось, значения **всех** выходных переменных y_1, \dots, y_7 попали в интервалы, границами которых служат пессимистичные и оптимистичные прогнозные значения. Причем фактические значения переменных y_2, y_4, y_7 ближе к пессимистичным прогнозам, переменных y_1, y_5 – к нейтральным, а переменных y_3, y_6 – к оптимистичным.

Анализ прогнозных результатов может позволить руководству дороги принять важные управленческие решения, направленные на повышение эффективности ее функционирования.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Проведен системный анализ закономерностей функционирования железнодорожного транспорта России и ряда зарубежных стран с учетом динамики исследуемых процессов.
2. Сформирован набор показателей, характеризующий внутренние и внешние аспекты процесса осуществления грузоперевозок на железнодорожном транспорте на региональном уровне.
3. Разработан алгоритм построения области определения многофакторного регрессионного уравнения, представляющей собой параллелепипед в пространстве независимых переменных.
4. Разработана нелинейная по переменным динамическая регрессионная модель эксплуатационных показателей функционирования железнодорожного транспорта, основанная на статистическом материале Красноярской железной дороги.
5. На основе модели разработан программный комплекс «БИВИН», предназначенный для решения широкого круга проблем среднесрочного прогнозирования будущих значений эксплуатационных показателей.
6. Осуществлено многовариантное прогнозирование эксплуатационных показателей для Красноярской железной дороги в предположениях наилучшего, наихудшего и нейтрального развития событий в будущем.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Издания, входящие в Перечень ВАК РФ

1. Врублевский И.П. Формирование области определения линейной регрессионной зависимости/С.И. Носков, И.П. Врублевский //Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2016.-№1.-С. 95-97.
2. Врублевский И.П. Регрессионная модель динамики эксплуатационных показателей функционирования железнодорожного транспорта/ С.И. Носков, И.П. Врублевский//Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2016.-№2.-С. 192-197.
3. Врублевский И.П. Среднесрочное прогнозирование эксплуатационных показателей функционирования Красноярской железной дороги/ М.П. Базилевский, С.И. Носков, И.П. Врублевский, И.С. Яковчук//Фундаментальные исследования.- 2016.-№10 (часть 3).-С.471-476.

Статьи в иных научных изданиях, сборниках научных трудов

4. Врублевский И.П. Факторное пространство модели эксплуатационных показателей функционирования железнодорожного транспорта/ И.П. Врублевский//Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем, 2015. -вып.14.-С. 22–26.
5. Врублевский И.П. Комплексный анализ узких мест в работе горочного комплекса сортировочных станций/ И.П. Врублевский//Сборник мат-лов Межд. конф. молодых ученых «Перспектив 2015», Красноярск, 2015., С.2-5.
6. Врублевский И.П. Применение комплексного подхода для контроля за использованием железнодорожной инфраструктуры на основе автоматизированного анализа конечных операций/ И.П. Врублевский//Сборник трудов 19-ой научно-практической конференции КрИЖТИрГУПС, 2015. – Т.1-С.51-54.
7. Врублевский И.П. Анализ работы горочного комплекса с целью оптимизации процесса роспуска вагонов/ И.П. Врублевский//Мат-лы VМеждународной конференции «Образование. Наука. Транспорт в XXI веке: опыт, перспективы, инновации», Самара-Оренбург, 2015, С.21-23.
8. Врублевский И.П. Контроль за отстоем вагонов: новые методы организации/ И.П. Врублевский//РЖД-Партнер, 2014, вып.22, С.42-44.
9. Базилевский М.П., Врублевский И.П., Носков С.И. Программный комплекс «БИВИН» среднесрочного прогнозирования эксплуатационных показателей деятельности железных дорог/М.П.Базилевский, Врублевский И.П., С.И. Носков//Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем, 2016. -Вып. №15.-С. 5–9.
10. Врублевский И.П. Система выдачи предупреждений, интегрированная в систему контроля за машинистом и локомотивом/И.П. Врублевский, Е.В. Врублевская, Я.Л. Засенко//Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем, 2011. -Вып. №9.-С. 30–35.

Подписано в печать 23.06.2017. Формат 60 х 90 / 16.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 1,25.
Тираж 100 экз. Заказ 100 . Поз. плана 10н.

Отпечатано в типографии ИрГУПС Адрес: 664074, г. Иркутск, ул.
Чернышевского, д. 15.