Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Иркутский государственный университет путей сообщения

На правах рукописи

Давааням Тамир

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БАЗОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации
(региональные народнохозяйственные комплексы)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Краковский Ю.М.

Иркутск 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……. 4
1. ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БАЗОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА……..……..…….....11
1.1. Характеристика и анализ перевозочного процесса на Улан-Баторской железной дороге...…….…….……12
1.2. Характеристика перевозочного процесса в условиях неопределенности и риска.....……..……...…20
1.3. Обзор и анализ методов прогнозирования показателей эффективности…….27
1.4. Анализ методов принятия управленческих решений ……..38
1.5. Цель и задачи работы…….. …….……..46
2. АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БАЗОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА…….....……48
2.1. Формализация процедуры комплексного прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса…….....48
2.2. Создание многофакторных моделей для базовых показателей…...56
2.3. Алгоритмическое обеспечение факторных прогнозных моделей ……59
2.4. Алгоритмическое обеспечение комплексного прогнозирование базовых показателей…….……66
2.5. Описание программного обеспечения комплексного прогнозирования базовых показателей…….72
2.6. Выводы по главе …….….77
3. АПРОБАЦИЯ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БАЗОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА…….....…….... 80

3.1. Исходные статистические и экспертные данные для апробации алгоритмического обеспечения комплексного прогнозирования базовых показателей……....80
3.2. Создание и апробация многофакторных регрессионных моделей ……..…….....……86
3.3. Создание и апробация факторных прогнозных моделей ……94
3.4. Апробация комплексного прогнозирования базовых показателей……..……101
3.5. Выводы по главе ……109
ЗАКЛЮЧЕНИЕ ……111
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ……114
ПРИЛОЖЕНИЕ. Акт внедрения ……..……..127

ВВЕДЕНИЕ

Железнодорожные перевозки во многих странах определяют развитие их экономики. Это относится и к Монголии, так как нехватка автомобильных дорог объективно определяет ведущую роль железнодорожного транспорта в экономике страны.

Главным перевозчиком грузов железнодорожным транспортом в Монголии служит Акционерное общество «Улан-Баторская железная дорога» (УБЖД), которая является общенациональной компанией, глубоко интегр ированной в Евроазиатскую транспортную систему. Суммарная прояженность ее главных путей составляет 1815 км, т.е 97% в общей длине железнодорожной сети Монголии.

В настоящее время железнодорожный транспорт в лице УБЖД сохраняет ведущее положение в общетранспортном балансе грузовых перевозок Монголии. В условиях рыночных преобразований экономики страны особое значение имеет стабильность функционирования железнодорожного транспорта, который служит связуюшим звеном для всех отраслей народного хозйства.

Перевозочный процесс железнодорожным транспортом является сложной системой, так как он определяется огромным числом железнодорожных объектов, функционирующих в условиях их постоянного взаимодействия, но сохраняющих единство по реализуемым функциям. Сложность перевозочного процесса определяется также тем, что железнодорожные объекты взаим одействуют между собой через процессы, которые они реализуют. Учитывая многовариантность перевозочного процесса, его следует исследовать с позиций системного анализа [8, 32, 44, 63, 67, 110, 114].

Перевозочный процесс в компании ОАО «РЖД» хорошо обеспечен средствами мониторинга техническими средствами [7, 38, 46, 75], информационно-автоматизированными системами управления, мониторинга и учета, включая системы по обеспечению безопасности движения (системы УРРАН, КАСАНТ, КАСАТ, ГИД «Урал» и др.) [18, 19, 97, 99, 103], научными и

нормативными документами по совершенствованию системы управления перевозочным процессом [67, 68, 80, 81, 82, 109].

Эти системы и нормативные документы постепенно адаптируются и внедряются в перевозочный процесс УБЖД.

Перевозочный процесс осуществляется в условиях неопределенности и риска, поэтому оценке величины рисков, их влиянию на принятие управленческих решений в различных предметных областях, безопасности движения на транспорте, посвящена большая литература, включая нормативные документы, [5, 16, 56, 62, 64, 96, 103].

Отметим зарубежных и российских ученых, внесших существенный вклад в системный анализ, теорию принятия решений, статистический анализ и прогнозирование: Айвазян С.А., Андерсон Т., Афифи А., Бокс Дж., Дженкинс Г., Дрейпер Н., Кендалл М., Кульба В.В., Ларичев О.И., Моисеев Н.Н., Ногин В.Д., Перегудов Ф.И., Подиновский В.В., Саати Т., Тарасенко Ф.П., Черноруцкий И.Г. и др.

Отметим также российских специалистов, внесших существенный вклад в исследование и прогнозирование перевозочного процесса с позиций системного анализа в условиях неопределенности и риска: Безродный Б.Ф., Гапанович В.А., Горелик А.В., Замышляев А.М., Краковский Ю.М., Левин Д.Ю., Лапидус В.А., Морозов В.Н., Розенберг Е.Н., Шубинский И.Б. и др.

С целью создания единой базы данных и развития информационных технологии на УБЖД с апреля 1990 года началось создание специализир ованного подразделения, которое сейчас называется Центром статистического учета и информационных технологий.

По мере развития центра статистического учета создано около 800 АРМ различного назначения, число пользователей более 1300. Эти АРМы работают на единой системе управления базами данных с помощью системы «Oracle». Программное обеспечение работает в режиме «Онлайн» и использует при своем создании прогрессивные технологии.

Несмотря на большое число АРМов и обслуживающих их программных комплексов, отсутствует программное обеспечение, посвященное прогнозированию базовых показателей, характеризующих перевозочный процесс железнодорожным транспортом на УБЖД. Это подтверждает актуальность диссертационной работы.

В связи с этим, необходимо разработать алгоритмическое и программное обеспечение для прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса железнодорожным транспортом для поддержки принятия управленческих решений, связанных с процессом перевозки грузов на УБЖД.

Все выше сказанное обосновывает актуальность выбранной темы диссертационной работы и позволяет сформулировать ее цель и задачи.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности принятия управленческих решений по перевозке грузов за счет разработки и применения алгоритмического и программного обеспечения комплексного прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса.

Реализация сформулированной цели достигается решением следующих **задач**:

1. Обоснование комплексного прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса железнодорожным транспортом на основе сравнительного анализа программно-алгоритмических средств и методов прогнозирования.

2. Создание алгоритмического обеспечения многофакторных моделей прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса, включая разработку методики их применения.

3. Выбор алгоритмов оценки параметров факторных моделей с учетом статистической и экспертной информации, применительно к комплексному прогнозированию базовых показателей.

4. Создание программного продукта по комплексному прогнозированию, реализующего разработанное алгоритмическое обеспечение, включая его апробацию по информации Улан-Баторской железной дороги.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования в диссертационной работе является перевозочный процесс железнодорожным транспортом как сложная система. Предмет диссертационного исследования – алгоритмическое и программное обеспечение применительно к прогнозированию базовых показателей перевозочного процесса.

Тематика работы соответствуют следующим пунктам паспорта специальности 05.13.01: п. 2 «Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации», п. 5 «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления и обработки информации», п. 11 «Методы и алгоритмы прогнозирования и оценки эффективности, качества и надежности сложных систем», п. 13 «Методы получения, анализа и обработки экспертной информации».

Научную новизну диссертации представляют следующие результаты, которые выносятся на защиту:

1. Формализация процедуры комплексного прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса, включающей многофакторные регре ссионные модели первого и второго порядка, факторные прогнозные модели на основе статистической и экспертной информации и технологию получения весовых коэффициентов.

2. Сценарный подход для комплексного прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса, основанный на различии экспертной информации и типов факторных моделей.

3. Специальное алгоритмическое обеспечение оценки параметров прогнозных моделей, учитывающее наличие статистической и экспертной информации, а также дополнительные методы по проверке статистических гипотез.

4. Методика комплексного прогнозирования, основанная на алгоритмическом и программном обеспечении, когда для оценки базовых

показателей перевозочного процесса создаются многофакторные регрессионные модели первого и второго порядка, учитывающие значения значимых факторов.

Практическая значимость диссертации заключается в разработке процедуры комплексного прогнозирования и графического отображения полученных результатов, реализованных в виде программного продукта «Комплексное прогнозирование базовых показателей», направленных на повышение эффективности управленческих решений при перевозке грузов. Созданное алгоритмическое и программное обеспечение апробировано и используется в Центре статистического учета и информационных технологий Улан-Баторской железной дороги при разработке мероприятий по совершенствованию перевозочного процесса. Акт о внедрении приведен в приложении.

Методы исследования и достоверность результатов. Результаты и выводы диссертационной работы, основаны на применении методов системного анализа, прогнозирования, теории вероятностей и математической статистики. Достоверность разработанного алгоритмического и программного обеспечения проверена расчетами на компьютере по экспертно-статистической информации показателей грузовых перевозок Улан-Баторской железной дороги и сравнением их с фактическими значениями.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на международных конференциях: 5-я международная НПК «Транспортная инфраструктура Сибирского региона», Иркутск, 2014; 4-я международная НПК «Безопасность регионов – основа устойчивого развития», Иркутск, 2014; 6-я международная НПК «Транспортная инфраструктура Сибирского региона», Иркутск, 2015; 7-я международная НПК «Транспортная инфраструктура Сибирского региона», Иркутск, 2016; The Fifth International Symposium on Innovation and Sustainability of Modern Railway (ISMR-2016), Nanchang, China, 2016.

Публикации. По результатам исследований опубликовано 9 научных работ в виде статей и докладов. Из них четыре публикации в изданиях, рекомендованных ВАК, число публикаций без соавторов – три.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка используемой литературы из 123 наименований и приложения с актом внедрения. Общий объем работы без приложения составляет 126 страниц.

В первой главе проведен анализ перевозочного процесса железнод орожным транспортом, обоснована актуальность работы, сформулированы цель и ее задачи. При этом:

а) проведен анализ перевозочного процесса на Улан-Баторской железной дороге, включая функции центра статистического учета и информационных технологий;

б) дана характеристика перевозочного процесса в условиях неопределенности и риска;

в) проанализированы методы прогнозирования показателей эффективности;

г) проведен анализ методов принятия управленческих решений.

Во второй главе описано созданное алгоритмическое и программное обеспечение комплексного прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса. При этом:

а) проведена формализация процедуры комплексного прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса;

б) создано для базовых показателей алгоритмическое обеспечение мн огофакторных моделей первого и второго порядка, зависящих от значимых факторов;

в) разработано алгоритмическое обеспечение для факторных прогнозных моделей;

г) создано и описано программное обеспечение комплексного прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса;

д) приведены выводы по результатам проведенных исследований.

В третьей главе проведена апробация разработанного алгоритмического и программного обеспечения комплексного прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса по реальным исходным данным. При этом:

а) приведены исходные статистические и экспертные данные для апробации разработанного алгоритмического и программного обеспечения;

б) созданы и апробированы многофакторные регрессионные модели первого и второго порядка по данным Улан-Баторской железной дороги;

в) созданы и апробированы факторные прогнозные модели для значимых факторов и базовых показателей;

г) проведено комплексное прогнозирование базовых показателей перевозочного процесса, включающих грузооборот и погрузку грузов, на основе сценарного подхода;

д) приведены выводы по результатам исследований.

Апробация алгоритмического и программного обеспечения по информации УБЖД показала его работоспособность, а также научную и практическую значимость для поддержки принятия управленческих решений, связанных с перевозочным процессом.

В заключении приведены основные результаты работы.

В приложении приведен акт внедрения результатов диссертационной работы на УБЖД.

1. ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БАЗОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА

В соответствии с Федеральным законом о железнодорожном транспорте перевозочный процесс, это «совокупность организационно и технологически взаимосвязанных операций, выполняемых при подготовке, осуществлении и завершении перевозок пассажиров, грузов, багажа и грузобагажа железнодорожным транспортом [108]».

Учитывая многовариантность перевозочного процесса, его следует исследовать с позиций системного анализа [8, 32, 44, 63, 67, 110, 114].

Следуя литературным источникам, определим системный анализ, как совокупность методов исследования и создания сложных систем, включающая следующие этапы: научное исследование проблемы, проектирование новых систем и изменение уже существующих, внедрение в практику полученных результатов [98]. Сложная система – это наличие большого числа связей и взаимодействий в системе, обеспечивающих ее целостность, сохранение системных свойств и функций, при различных внутренних и внешних изменениях [8, 98].

Важнейшей задачей системного анализа сложной системы является поиск таких вариантов решения возникшей проблемы, которые: 1) исключают появление новых, еще более трудоемких и слабоформализованных задач; 2) поддерживают преемственность в развитии исследуемой системы; 3) сохраняют положительные стороны исследуемой системы.

Перевозочный процесс железнодорожным транспортом является сложной системой, так как он определяется огромным числом железнодорожных объектов, функционирующих в условиях их постоянного взаимодействия, но сохраняющих единство по реализуемым функциям. Сложность перевозочного процесса определяется также тем, что железнодорожные объекты взаим одействуют между собой через процессы, которые они реализуют.

В качестве процессов, можно выделить прежде всего следующие: движение поездов, обеспечение погрузки и выгрузки грузов, управление ремонтными работами, управление вагонным парком, управление локомоти вным парком и др. Объектами являются локомотивные депо, сортировочные станции и железнодорожные узлы, участки и перегоны, грузовые фронты, сеть железных дорог и др.

1.1. Характеристика и анализ перевозочного процесса на Улан-Баторской железной дороге

Железнодорожные перевозки грузов во многих странах определяют развитие их экономики. Это относится и к Монголии, так как нехватка автомобильных дорог объективно определяет ведущую роль железнодорожного транспорта в экономике страны.

Основной технической базой и главным перевозочным конвейером железнодорожного транспорта Монголии служит Акционерное общество «Улан-Баторская железная дорога» (УБЖД), которая является общенациональной компанией, глубоко интегрированной в Евроазиатскую транспортную систему. Суммарная прояженность его главных путей составляет 1815 км, т.е 97% в общей длине железнодорожной сети Монголии.

В настоящее время железнодорожный транспорт в лице УБЖД сохраняет ведущее положение в общетранспортном балансе грузовых перевозок Монголии. В условиях рыночных преобразований экономики страны особое значение имеет стабильность функционирования железнодорожного транспорта, который служит связующим звеном для всех отраслей народного хозйства.

Несмотря на резкое снижение объемов транспортной работы, произошедшее в начальный период перехода в рыночную систему хозяйствования, железнодорожному транспорту удалось сохранить свое ведущее положение в общетранспортном балансе грузовых перевозок Монголии. В условиях сложившихся нестабильных и трудно предсказуемых экономических, политических и социальных перемен в стране,

железнодорожный транспорт смог стать и продолжает оставаться наиболее стабильно работающим и привлекательным для большинства грузовладельцев видом транспорта.

УБЖД – это совместное монгольско-российское предприятие, когда каждая сторона имеет 50%. Крупнейшей линией Монголии является Тран смонгольская магистраль: Сухэ-Батор-Улан-Батор-Дзамын-Удэ, она имеет протяженность более тысячи километров. Благодаря постройке этой магистрали, железнодорожный путь из Европы в Центральную Азию сократился на 1025 км. От этой дороги в различные направления в настоящее время отходят несколько веток, соединяющих столицу с другими регионами Монголии.

В настоящее время УБЖД является единственной магистралью, которая связывает не только Монголию с другими странами мира, но и является кратчайшим путем, соединяющим Азию с Европой через Трансси-бирскую магистраль.

Для Монголии, не имеющей прямого выхода к морю, железнодорожный транспорт играет большую роль в развитии вне шнеэкономической деятельности. УБЖД имеет три пограничных железнод орожных перехода: два пограничных перехода с Российской Федерацией: «Соловьевск-Эрэнцав» и «Наушки-Сухэ-Батор»; один пограничный переход с Китаем – «Замын ууд-Эрлянь».

Удельный вес железнодорожного транспорта в суммарном грузообороте Монголии составляет более 80 %, доля в пассажирообороте составляет около 50 %.

Дорога обслуживает крупнейшие угольные разрезы, рудники, тепловые электростанции, металлургические предприятия и другие промышленные предприятия страны. Наиболее крупными предприятиями являются: угольные разрезы – Багануур, Шивээ-Овоо, Олон-Овоо и Шарынгол; Эрдэнэтский горно-обоготительный, Дарханский металлургический комбинаты; Дарханские и Хутулские цементные заводы;

Улан-Баторские, Дарханские, Эрдэнэтские тепловые электростанции и ряд заводов – всего более 60 предприятий страны.

Основная часть перевозок во внутреннем сообщении приходится на транспортировку угля, главным образом, в направлении теплоэлектр останций города Улан-Батор (ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, ТЭЦ-4) со станций Багануур, Шивээ-Овоо, Олон-Овоо и Шарынгол, обслуживающих основные дейс твующие в настоящее время угольные месторождения Монголии. В экспортных перевозках преобладающее положение занимает транспортировка рудных грузов. Железная руда поставляется на мета ллургические предприятия Китая.

Основные показатели по перевозочному процессу

В таблице 1.1 приведены основные показатели УБЖД за 2011-2015 годы:

P – погрузка, тыс.тонн;

G – эксплуатационный грузооборот, млн.ткм;

V – расходы по перевозкам (млн.тугр);

Q – доходы по перевозкам (млн.тугр);

C – цена единицы перевезенного грузооборота, млн.тугр/млн.ткм;

vu – участковая скорость, км/час;

pl – производительность локомотива, тыс.ткм/сут;

spl – среднесуточный пробег локомотива, км/сут;

pg – средний вес грузового поезда, тонн;

pv – производительность грузового вагона, ткм/сут;

ov – оборот грузового вагона, сут.

Таблица 1.1 Основные показатели УБЖД за 2011 – 2015 годы

Показатели	2011	2012	2013	2014	2015
P	14 371,8	16 221,7	16 606,1	16538.4	14591.0
G	11 418,7	12 142,7	12 076,5	12473.7	11462.6
V	343292,3	406 735,4	420 806,2	-	-
Q	390 894,1	416 520,2	419 934,6	-	-
C	26,95	29,74	31,06	32,51	30,64
vu	37,0	39,28	42,24	44,34	45,63
pl	1 183,60	1 356,31	1 466,11	1 595,42	1 555,62
spl	503	536	569	606	570
pg	2 921	3 091	3 220	3 310	3 406
pv	7 313,90	8 672,95	9 435,04	9 976,96	11 399,58
ov	4,40	3,59	3,26	3.24	2.95

По большинству показателям наблюдается рост до 2014 года и некоторое ухудшение показателей в 2015 году. Хотя такие показатели как участковая скорость, средний вес грузового поезда, оборот грузового вагона, производительность грузового вагона улучшились.

Погрузка и отправление грузов является одним из важнейших показателей, который характеризует перевозочный процесс железнодорожным транспортом. В таблицах 1.2 и 1.3 приведены объемные показатели УБЖД по группам грузов за 2014 и 2015 годы.

Проведем анализ этих данных.

Из таблицы 1.2 видно, что первое место по объему перевозки занимают грузы местного применения, затем экспорт, импорт и транзит. Из групп грузов на первом месте руда.

Таблица 1.2

Объемы перевозок грузов по УБЖД за 2014 год

	Группа грузов	Объемы, тыс.т			
		Импорт	Экспорт	Местное	Транзит
	Каменный уголь	-	65,27	6 555,04	17,55
	Каменноугольный кокс	6,31	-	0,10	17,16
	Нефтегрузы	1 045,25	61,59	310,50	348,72
	Руда	-	4 890,35	21,90	-
	Чёрные металлы	272,42	0,12	287,88	40,33
	Лесные грузы	14,74	40,20	46,94	1 010,52
	Химические и минеральные удобрения	35,40	-	6,70	-
	Минерально-строительные материалы	109,36	-	1 854,61	49,92
	Хлебные грузы	66,88	41,58	159,09	-
	Прочие	738,36	1 092,03	1 330,82	580,96
	Итого	2 288,73	6 191,13	10 573,57	2 065,15

Транзитные грузы перевозятся в двух направлениях: в четном – из России (севера) в КНР (на юг); в нечетном – из КНР в Россию. Перевозчиками являются УБЖД и экспедиторские компании. Общий объем перевезенных грузов в 2014 году составил 21118,5 тыс.т, в 2013 году – 21035,5 тыс.т, наблюдается некоторый рост.

В 2015 году (табл. 1.3) по сравнению с 2014 годом (табл. 1.2) не произошел общий рост объема перевезенных грузов, незначительно увеличился лишь транзит. Как и в 2014 году первое место по объему перевозки занимают грузы местного применения, затем экспорт, импорт и транзит. Из групп грузов на первом месте также руда.

Таблица 1.3

Объемы перевозок грузов по УБЖД за 2015 год

	Группа грузов	Объемы, тыс.т			
		Импорт	Экспорт	Местное	Транзит
	Каменный уголь	-	99,27	6 335,07	69,92
	Каменноугольный кокс	-	-	0,18	-
	Нефтегрузы	999,40	64,29	256,85	112,09
	Руда		4 935,07	6,23	2,89
	Чёрные металлы	182,68	0,38	155,40	13,29
	Лесные грузы	11,83	34,64	42,83	1 053,87
	Химические и минеральные удобрения	46,92	-	20,30	0,42
	Минерально-строительные материалы	180,87	10,47	1 212,63	26,96
	Хлебные грузы	52,65	35,70	182,47	0,13
	Прочие	713,85	457,93	1 019,29	814,04
	Итого	2 188,19	5 637,74	9 231,26	2 093,60

Центр статистического учета и информационных технологий УБЖД

С целью создания единой базы данных и развития информационных технологии на УБЖД с апреля 1990 года началось создание специализированного подразделения, которое сейчас называется Центром статистического учета и информационных технологий УБЖД.

Данный центр содержит три направления деятельности:

1) Отдел статистики, отвечающий за сбор статистических данных по всей сети и их накопление на специализированных серверах;

2) Отдел информационных технологий, отвечающий за разработку специализированного программного обеспечения в виде автоматизированных рабочих мест (АРМ);

3) Отдел отчетности, отвечающий за обработку статистических данных, создание выходных документов и рассылку их по потребителям. Основные показатели работы УБЖД по различным показателям формируются ежемесячно, а отчеты по оперативной работе дороги – ежесуточно.

На рисунке 1.1 приведена графическая иллюстрация пунктов сбора статистической информации по железнодорожной сети УБЖД.

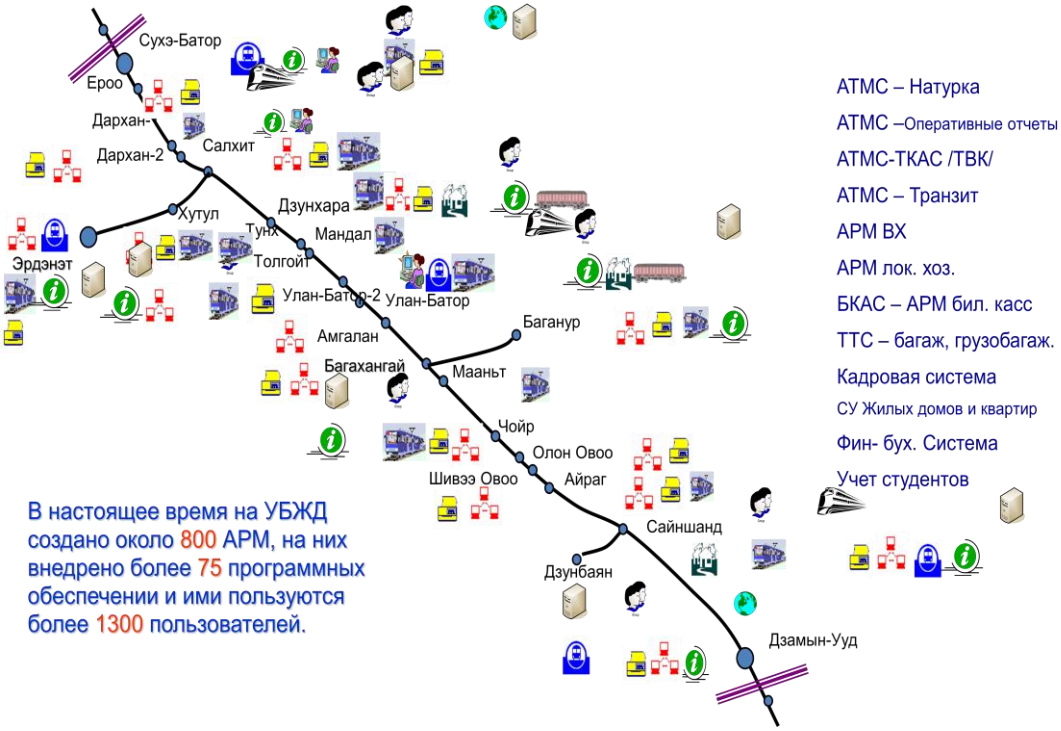


Рис.1.1. Пункты сбора статистической информации на УБЖД

По мере развития центра статистического учета создано около 800 АРМ различного назначения, число пользователей более 1300. Эти АРМы работают на единой системе управления базами данных с помощью системы «Oracle» (рис. 1.2). Программное обеспечение работает в режиме «Онлайн» и использует при своем создании прогрессивные технологии.

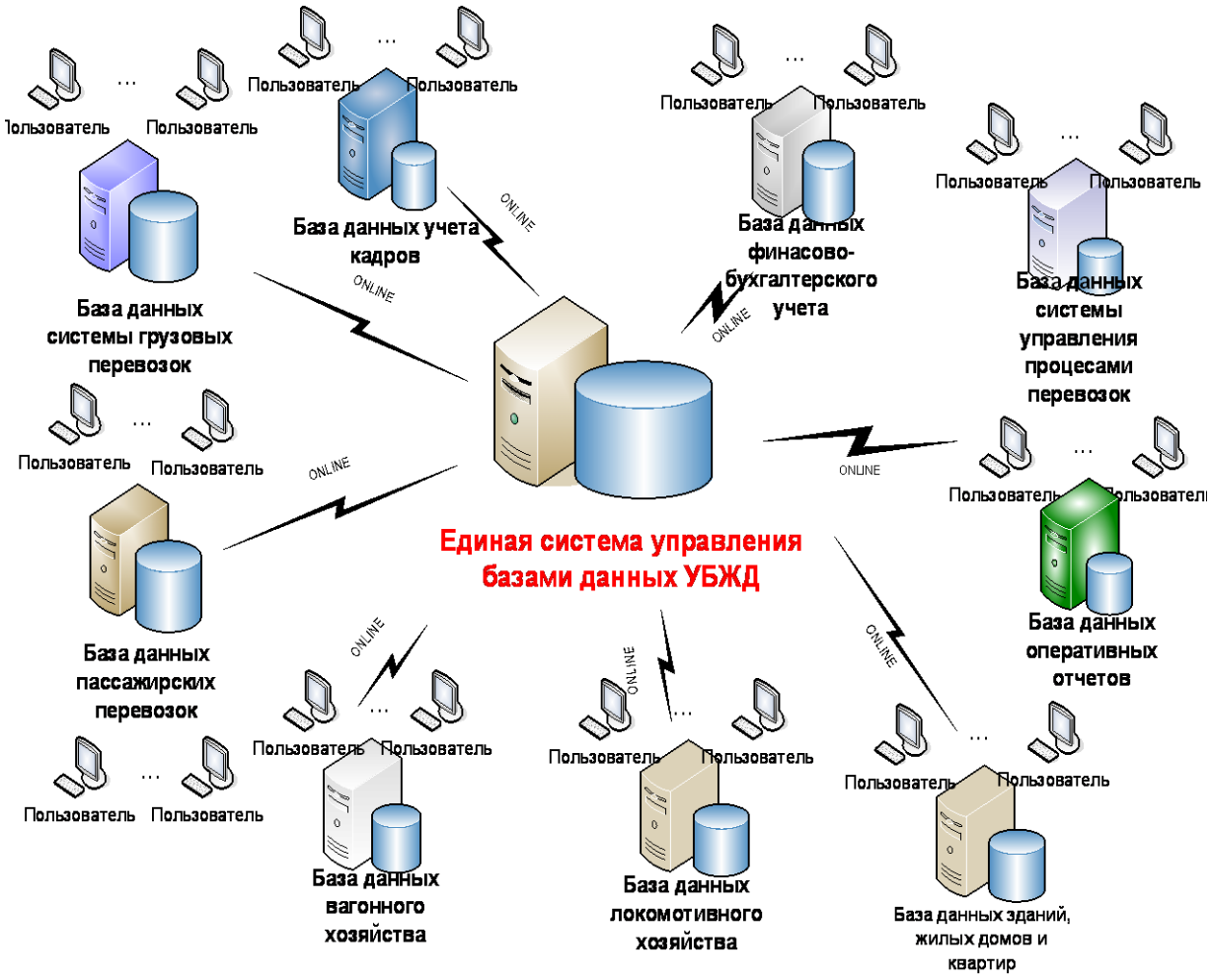


Рис. 1.2. Система управления базами данных УБЖД

Основными АРМами созданными в «Центре» являются:

1. Система обработки натурных листов (АРМ Натурка);

2. Автоматизированная система товарных документов (АРМ ТВК для обработки перевозочных документов);

3. Система для продажи железнодорожных билетов (АРМ БКАС – продажа билетов на пассажирские поезда, отправление багажа и товаро-багажа);

4. Система подготовки суточного отчета эксплуатационной работы дороги;

5. Система разработки маршрутного листа;

6. Система взаимообмена информациями с ОАО “РЖД”;

7. Система АТМС-Транзит для учета использования грузовых вагонов и оформлению документов на пограничных станциях;

8. Система ремонта и экплуатации вагонов;

9. Система финансового и бухгалтерского учета:

- АРМ расчета заработной платы;
- АРМ учета ТМЦ (материальная программа);
- АРМ бухгалтерского учета;
- АРМ учета движения денежных средств;

10. Система учета и управления кадрами и др.

Несмотря на большое число АРМов и обслуживающих их программных комплексов, отсутствует программное обеспечение, посвященное прогнозированию базовых показателей, характеризующих перевозочный процесс железнодорожным транспортом на УБЖД. Это подтверждает актуальность диссертационной работы.

1.2. Характеристика перевозочного процесса в условиях неопределенности и риска

Перевозочный процесс осуществляется в условиях неопределенности и риска, поэтому оценке величины рисков, их влиянию на принятие управленческих решений в различных предметных областях, безопасности движения на транспорте, посвящена большая литература, включая нормативные документы, [5, 16, 56, 62, 64, 96, 103]. Так, например, в работе [5] указано, что «только в Интернет-словарях содержится свыше 1500 толкований риска, связанных со сферами человеческой деятельности».

Учитывая то, что термин «риск» не имеет однозначного понимания, иногда вводят различные модели рисков, позволяющие формализовать пр оцедуру их анализа.

При наличии нескольких вариантов развития последствий от негативных событий (риск получения ущерба в результате действия опасностей), ситуацию

описывают моделью «опасность-риск» [5, 16]. В этом случае рекомендуется выявить неопределенность, зависящую от опасностей, которая приводит к ситуации риска.

В случае, если неопределенность это свойство исследуемого объекта и многовариантность возможных последствий определяется этой неопределенностью, то подобную ситуацию описывают моделью «неопределенность-риск» [5, 16]. Риск как неопределенность часто связан с тем, что исследуемый объект подвергается воздействию множества случайных факторов, обобщенное влияние которых обеспечивает статистическую устойчивость неопределенности. Под неопределенностью в этом случае, понимают ситуацию, когда частично отсутствует информация о состояниях исследуемого объекта (системы), но имеется возможность экспертно-статистической оценки параметров вероятностной модели.

Учитывая широкий диапазон вопросов, связанных с вычислением и применением различных рисков, в этом параграфе более детально рассмотрим два вопроса:

1) как оценивать величину риска;

2) роль системы УРРАН в повышении эффективности эксплуатационной работы при организации перевозочного процесса.

В соответствии с нормативными документами [22], риск – это «сочетание вероятности события и его последствий». Исходя из этого определения, в основе риска находится неблагоприятное (опасное) событие, которое может привести к негативным последствием (причинить вред). Величина риска – это количественная или качественная оценка подобной ситуации.

На практике наибольшее распространение получили однофакторная или двухфакторная модели оценки величины риска [16, 101].

При однофакторной модели величина риска (R) оценивается как вер оятность неблагоприятного события A,

$$R=P(A); \qquad (1.2.1)$$

при двухфакторной модели

$$R=P(A)\cdot U_a, \qquad (1.2.2)$$

где U_a – ущерб от негативного события A.

На практике оценить количественно факторы $P(A)$ и U_a не всегда уд ается, поэтому чаще используется качественный подход с применением различных шкал, позволяющих описать как факторы, так и сам риск. В шкалах выделяют три компоненты: число уровней, наименование уровней, экспертное описание уровней, позволяющее пользователю использовать эти шкалы.

В качестве примера рассмотрим методику оценки величины (уровня) риска, используемую в Концепции ситуационного центра мониторинга и управления чрезвычайными ситуациями ОАО «РЖД» [68, 101].

В этой методике для описания частоты (вероятности) возникновения негативного события (ЧНС) используется шестиуровневая шкала с такими уровнями: частое (Ч), вероятное (В), случайное (С), редкое (Р), крайне редкое (КР), маловероятное (МВ).

Для описания последствий от опасного события (возможный ущерб) (ПОС) используется четырехуровневая шкала с такими уровнями: незначительный (НЗ), несущественный (НС), критический (КР), катастрофический (КАТ).

Величина риска описывается четырехуровневой шкалой с такими уровнями: не принимаемый в расчет (НПР), допустимый (Д), нежелательный (НЖ), недопустимый (НД).

Для реализации модели (1.2.2) экспертно создается таблица с двумя входами (столбцы описывают последствия опасного события, а строки – частоту негативного события) и одним выходом (элемент таблицы, который является уровнем риска) (табл. 1.4).

Таблица 1.4

Оценка уровня риска

ЧНС-ПОС	НЗ	НС	КР	КАТ
Ч	НЖ	НД	НД	НД
В	Д	НЖ	НД	НД
С	Д	НЖ	НЖ	НД
Р	НПР	Д	НЖ	НЖ
КР	НПР	НПР	Д	Д
МВ	НПР	НПР	НПР	НПР

Так, например, если для конкретной ситуации частота негативного события имеет уровень Р (редкое), а последствия от опасного события имеют уровень КАТ (катастрофический), то уровень риска будет НЖ – нежелател ьный.

Подобный подход имеет очень большое применение, его иногда называют табличным. Его некоторая внешняя простота на самом деле требует хорошего экспертного описания уровней факторов, опирающегося на высокую квалификацию экспертов и наличие необходимой статистической информации. В документе [22] в таблице 2 приведено экспертное описание уровней тяжести последствий по видам рисков – внутренних и внешних. Там же имеется пример принимаемых решений в зависимости от уровня полученного риска.

Так, например, для уровня НЖ (нежелательный) даны такие рекомендации [22]: «Риск может быть принят при согласовании руководства организации, в случае, когда снижение риска невыполнимо или нецелесообразно. Обработка риска сводится к устранению последствий».

Однофакторная модель (1.2.1) чаще используется в экономике. Одним из первых на проблему экономического риска указал Ф. Найт в 1921 году, выдвинув положение, что прибыль связана с неопределенностью и поэтому имеет случайный характер [16].

Пусть V – прибыль предприятия, которая является случайной величиной. В этом случае, прибыль описывается плотностью распределения вероятностей: $f(v)$, $v>a$. Вводится риск, как вероятность специального события

$$R_v = P(v < D_v) = \int_a^{D_v} f(v)dv \quad , \tag{1.2.3}$$

где D_v – заданное значение прибыли. Прибыль меньше этого значения является рисковой. Значение D_v называют показателем риска в параметрической форме [16].

Нахождение плотности распределения вероятностей для системных показателей является сложной задачей, т.к. они зависят от большого числа факторов, которые, как правило, имеют вероятностную природу. На практике используется метод имитационного моделирования или метод Монте-Карло [49, 51].

В технологии управления рисками выделяют различные этапы [22]:

1) идентификация риска (процесс нахождения, составления перечня и описания факторов риска);

2) анализ риска, когда его идентификация дополняется оценкой величины риска (частично этот вопрос рассмотрен в параграфе 1.4.1);

3) оценивание риска – процесс сравнения полученной величины риска с данными критериями риска с целью определения значимости риска [20]. Критерии риска – это правила, по которым оценивают значимость риска, полученного на этапе анализа;

4) обработка рисков – процесс выбора и выполнения мероприятий по снижению величины (уровня) риска, если он оказался значимым.

Следует подчеркнуть, что термины «анализ риска», «оценивание риска», «обработка риска» не имеют однозначного определения и назначения.

Одним из важных нормативных документов, определяющим развитие системы управления безопасностью и рисками в компании ОАО «РЖД», является распоряжение и его приложение [103]. Этот документ содержит несколько важных стандартов и методик, например:

1) «Показатели процессов, влияющих на безопасность движения»;

2) «Риск-менеджмент в организации обеспечения безопасности движения»);

3) Методика внедрения (СТО РЖД 02.038-2011);

4) Методика оценки показателей процессов, влияющих на безопасность движения на основе оценки рисков и др.

Как уже отмечалось, перевозочный процесс железнодорожным транспортом является сложной системой, требующей системного подхода к своему исследованию. Этот процесс в компании ОАО «РЖД» хорошо обеспечен средствами мониторинга техническими средствами [7, 38, 46, 75], информационно-автоматизированными системами управления, мониторинга и учета, включая системы по обеспечению безопасности движения (системы УРРАН, КАСАНТ, КАСАТ, ГИД «Урал» и др.) [18, 19, 97, 99, 103], научными и нормативными документами по совершенствованию системы управления перевозочным процессом [67, 68, 80, 81, 82, 109].

Эти системы и документы постепенно адаптируются и внедряются в перевозочный процесс УБЖД.

Следует отметить, что учет неопределенности и риска в перевозочном процессе, приводит к развитию методов оценки показателей эффективности [94], в частности развитие методов вероятностного анализа безубыточности [33, 35, 42, 63, 111].

Важное место в управлении рисками, принятии управленческих решений по совершенствованию процесса перевозки грузов занимает система УРРАН [18, 19].

Система УРРАН основана на международной методологии *RAMS* (безопасность, готовность, ремонтопригодность и безопасность). Но данная методология в большей степени ориентирована на управление надежностью технических устройств, а система УРРАН изначально была направлена на

управление надежностью, ресурсами и рисками эксплуатационной работы перевозочного процесса железнодорожным транспортом.

Ее первоначальное внедрение проходило в путевых хозяйствах Дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД» для оценки способности инфраструктуры к выполнению заданного объема перевозок с установленной скоростью.

Эта «способность» оценивается введенным в систему УРРАН показателем – эксплуатационным коэффициентом готовности, который характеризует надежность не конкретного объекта, а перевозочного процесса, который он осуществляет. В этом показателе учитываются не только параметры ремонтопригодности и безотказности, но и параметры перевозочного процесса: участковой скорости поездов, плановых и внеплановых технологических перерывов и др.

С внедрением системы УРРАН, на основе принципов и показателей эксплуатационной надежности и безопасности, стало возможным создавать и внедрять методики управления инвестициями в структурных подразделениях компании ОАО «РЖД» на всех этапах жизненного цикла.

В дальнейшем компанией ОАО «РЖД» система УРРАН была апробирована в хозяйствах железнодорожной автоматики и телемеханики. При этом была проверена возможность выработки управляющих решений, направленных на повышение надежности устройств, оптимизацию использования материальных и трудовых ресурсов, а также стоимости жизненного цикла железнодорожной автоматики и телемеханики.

Важно, чтобы и система УРРАН и опыт ее внедрения нашли место и применение на УБЖД в различных хозяйствах и службах.

1.3. Обзор и анализ методов прогнозирования показателей эффективности

При подготовке информации для поддержки принятия управленческих решений большую роль играют методы прогнозирования показателей эффе ктивности. Это в полной мере относится и к управлению перевозочным процессом на УБЖД.

В практических задачах, прогнозирование – это специальное научное исследование конкретных перспектив развития какого-либо процесса (пок азателя эффективности). Здесь можно сослаться на известных специалистов в области статистического анализа данных и прогнозирования [2, 9, 10, 13, 37, 52, 55, 74, 102, 106]. Для случая, когда влияющей переменной является время, речь идет о прогнозировании показателя эффективности на основе экстраполяции временного ряда. Прогнозированию на основе временных рядов посвящена значительная литература [13, 41, 45, 74, 87, 97. 104]. Это связано с большим практическим применением этого направления.

Целью прогнозирования является нахождение зависимости между влияющими факторами и показателем эффективности с последующим использованием этой зависимости. Как уже отмечалось, если влияющим фактором является время, то говорят о прогнозировании показателя эффективн ости на основе временного ряда.

Математическое описание задачи прогнозирования состоит из нескольких этапов [2]:

1) выбор показателей эффективности, прогнозирование которых требуется провести. На этом этапе происходит накопление исходных данных для этих показателей;

2) подбор и обоснование прогнозных функций, которые могут быть однофакторными или многофакторными;

3) выбор метода оценки параметров обоснованных прогнозных функций;

4) проведение прогнозирования показателей эффективности, проверка адекватности полученных результатов, принятие решений.

В качестве исходных данных может использоваться либо лишь статистическая информация или дополнительно может использоваться информация экспертов [12].

В подобных случаях рекомендуется дополнительно к статистическим данным добавлять суждения экспертов на различные годы, как специалистов в исследуемой предметной области [2, 21, 34, 54, 88].

Если используется только статистическая информация по исследуемому показателю (в нашем случае временной ряд), то иногда этот случай называют однородной информацией. Если дополнительно может использоваться экспертная информация (суждения экспертов о поведении показателя в будущем), то иногда эту объединенную информацию называют разнородной [21]. Наличие экспертных суждений увеличивает объем исходных данных и изменяет их тенденцию, что является преимуществом подхода с использованием экспертной информации.

Дополнительно отметим, что прогнозная модель, получаемая по однородной информации, обладает необходимой точностью прогнозирования при наличии двух условий:

а) обосновано, что эта модель является адекватной по выбранному набору критериев относительно исходной статистической информации;

б) изменение показателя в будущем соответствуют его изменениям в прошлом.

Второе условие очень важно и не всегда выполняется в экономике, особенно это характерно для показателей и факторов, характеризующих перев озочный процесс на железнодорожном транспорте. Поэтому возможность учета экспертных суждений о состоянии показателя в будущем, повышает точность прогнозирования.

В общем случае экспертные суждения для прогнозирования могут быть в виде [12]: 1) точечного прогноза; 2) интервального прогноза; 3) прогноза распределения вероятностей.

В работе рекомендованы точечные экспертные суждения, полученные группой квалифицированных специалистов, которые создаются на прогнозируемые годы и по базовым показателям и по значимым факторам.

В последние годы имеются практические исследования по прогнозированию значений показателей различных предметных областей. Отметим работы, выполненные аспирантами и коллегами научного руководителя данной диссертационной работы:

1) прогнозирование показателей рынка образовательных услуг [122, 123];

2) прогнозирование показателей, характеризующих процесс перевозки пассажиров дальнего следования [43, 44];

3) прогнозирование показателей, характеризующих процесс перевозки грузов [34, 35];

4) прогнозирование выбросов загрязняющих веществ в атмосферу [76, 77];

5) прогнозирование бокового износа рельсов и их остаточного ресурса [58, 59, 60];

6) интервальное прогнозирование нестационарных динамических показателей [69, 70, 71, 72, 73].

На рисунке 1.3 показана технология многофакторного прогнозирования выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, использующая на этапе построения факторных моделей метод аппроксимации различными функциями [76].

Здесь y - значение прогнозируемого показателя эффективности; F - многофакторная функция регрессии; φ_i - факторные прогнозные модели; θ - набор параметров факторных моделей φ_i; x_i - значение -го i фактора; n - число

факторов; t - время. Для каждого фактора прогнозные модели создаются с применением двух типов информации – статистической и экспертной.

Прогнозные модели для временных рядов могут быть линейными и нелинейными.

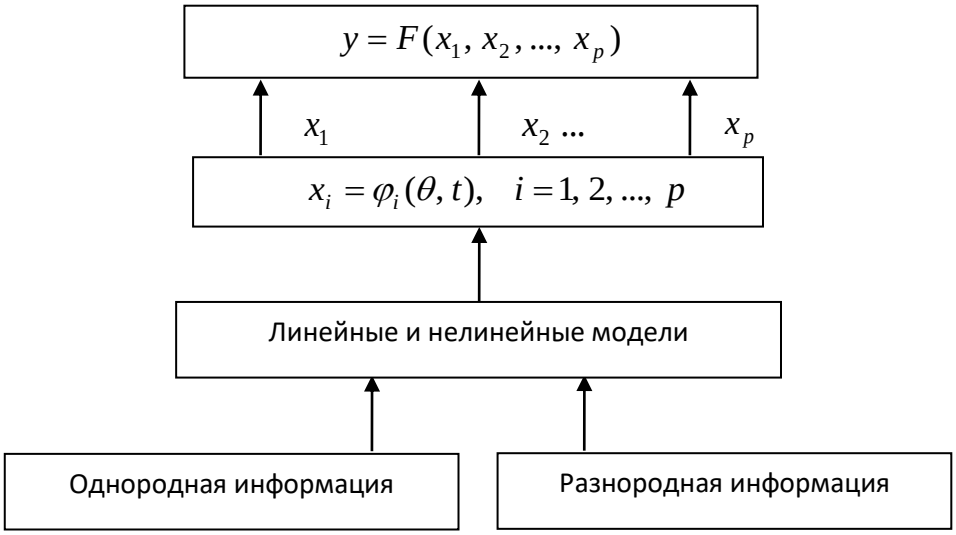


Рис. 1.3. Общая схема многофакторного прогнозирования выбросов

В работах [76, 77] показано, что для прогнозирования суммарного объема выбросов достаточно учитывать незначительное число существенных факторов, если они затем участвуют как прогнозные значения в многофакторной регрессионной модели. Эта идея использована и существенно доработана в данной работе.

При создании прогнозных моделей на основе временных рядов, на практике используются различные подходы и методы, например:

а) авторегрессионные методы прогнозирования: среднего и экспоненциального сглаживания, метод Винтера, методы Бокса-Дженкинса и др. [13, 105]);

б) аппроксимация линейными и нелинейными функциями [1, 39, 121];

в) нейронные сети и их модификации [4, 23, 91, 92, 107, 116];

г) кластерные методы [69, 73].

Метод Винтера является развитием метода Хольта, который, в свою очередь, является развитием метода экспоненциального сглаживания. Его преимущество – возможность учета сезонных составляющих в исходных данных.

Класс авторегрессионных методов является наиболее известным, обширным и широко применяемым для решения различного рода математических задач (статистический анализ, аппроксимация и интерполяция данных и т.п). Авторегрессионные методы хорошо изучены и просты в своём применении при решении практических задач. Модель простой линейной авторегрессии имеет следующий вид [13]

$$\tilde{q}_t = \varphi_0 + \varphi_1 q_{t-1} + \varphi_2 q_{t-2} + \ldots + \varphi_m q_{t-m} = \varphi_0 + \sum_{j=1}^{m} \varphi_j q_{t-j}. \qquad (1.3.1)$$

Здесь $\varphi_0,\ldots,\varphi_m$ коэффициенты, для определения которых обычно используют метод наименьших квадратов. Формула (1.3.1) описывает авторегресионную модель порядка m, в которой значения показателя в данный момент времени линейно зависят от предыдущих значений [13, 73].

Другая распространённая модель из класса авторегрессионных, получившая название скользящего среднего, имеет вид [13, 73]

$$\tilde{q}_t = \omega_1 q_{t-1} + \omega_2 q_{t-2} + \ldots + \omega_k q_{t-k} = \sum_{j=1}^{k} \omega_j q_{t-j}, \qquad (1.3.2)$$

где k – порядок скользящего среднего, $\omega_1,\ldots,\omega_k$ – весовые коэффициенты, $\sum_{j=1}^{k} \omega_j = 1$.

Если в (1.3.2) все коэффициенты $\omega_j = \frac{1}{k}$, то такая модель носит название простого скользящего среднего, а если $\omega_j = \frac{\gamma_j}{\sum_{j=1}^{k} \gamma_j}$, где γ_j – произвольные весовые коэффициенты, то эту модель называют взвешенным скользящим средним.

Ещё одной разновидностью авторегресионных методов является модель, получившее название экспоненциального скользящего среднего [13, 73]

$$\tilde{q}_t = \alpha \cdot q_{t-1} + (1-\alpha) \cdot \tilde{q}_{t-1}. \quad (1.3.3)$$

Здесь $\alpha \in [0;1]$ – коэффициент сглаживания; начальное условие обычно определяются как $\tilde{q}_0 = q_0$.

В настоящее время при прогнозировании временных рядов активно внедряются и используются методы, основанные на искусственных нейронных сетях. Входы в этих моделях называются дендритами, они имеют порог «срабатывания», выходы – аксонами, а точки их соединения – синапсами [116]. Существует класс нейронов, использующий две группы входов – возбуждающие и тормозящие.

Нейронные модели описываются уравнениями вида [116]

$$\begin{aligned} U(t) &= \sum_{j=1}^{g} \omega_j c_{t-j} + b \\ Z(t) &== \psi(U(t)) \end{aligned}, \quad (1.3.4)$$

где c_{t-j} – значения временного ряда, wj – синоптические веса, b – порог срабатывания нейрона, $Z(t)$ – функция активации нейрона, обычно в диапазоне (0,1).

Функция активации имеет нескольких типов: пороговая функция, кусочно-линейная функция, сигмоидальная функция [116]. В качестве примера приведем последний тип (h – параметр наклона)

$$Z(t) = \psi(U(t)) = \frac{1}{1+e^{-h \cdot U(t)}}. \quad (1.3.5)$$

Способ связи нейронов определяет архитектуру их сети: однослойные, многослойные и рекуррентные сети. В технологии прогнозирования на основе нейронных сетей выделяют этапы обучения, самоорганизации и адаптации. Основным достоинством нейронных сетей является их нелинейность, связанная с нелинейной зависимостью между будущими и текущими значениями статистических данных, что часто требуется на практике. Недостатками этих

сетей является достаточно сложная технология их использования, связанная с наличием нескольких связанных этапов (обучение, адаптация и др.) [116].

Выделяют обучение с учителем и обучение без учителя. Одним из широко известных и сравнительно простых методов обучения с учителем является метод Видроу-Хоффа. Метод заключается в итерационном подборе весов таким образом, чтобы выходной сигнал нейрона был наиболее близок к заранее заданному значению. Первоначальные значения весов задаются случайно.

В качестве примера кластерных моделей рассмотрим модель, описанную в работе [73] применительно к интервальному прогнозированию.

Обозначим значения показателя через $\mathbf{S}=\{s_t:t\in\mathbf{T}\}$. Здесь s_t – значения показателя, доступные в дискретные моменты времени t, где t принимает значения из множества $\mathbf{T}=\{0,...,n-1\}$.

Введём величину d_t, которую назовем пороговым уровнем, и будем рассчитывать ее для последнего значения показателя так

$$d_t = s_t + \alpha\cdot\bar{s}, \tag{1.3.6}$$

где $t=n-1$, $\bar{s}=\frac{1}{n-1}\sum_{t=1}^{n-1}|s_t-s_{t-1}|$ – среднее арифметическое модулей разности соседних значений $\mathbf{S}=\{s_t:t\in\mathbf{T}\}$, $\alpha\in[-1;1]$ – коэффициент, который задается заранее.

При интервальном прогнозировании в момент времени $t=n-1$ необходимо провести оценку вероятности ρ^{+}_{t+p} того, что будущее значение показателя $s_{t+p}>d_t$ или оценку вероятности ρ^{-}_{t+p} того, что будущее значение показателя $s_{t+p}\le d_t$, где $p=1,...,q$ есть время упреждения, а $\rho^{+}_{t+p}+\rho^{-}_{t+p}=1$ (рис. 1.4).

Под кластером $\mathbf{S}^{\mathbf{f}}_{\mathbf{i}}=\{s_i,...,s_{i+f-1}\}$ понимают выборку последовательных значений из $\mathbf{S}=\{s_t:t\in\mathbf{T}\}$ с позиции $i\in\mathbf{T}$ и с количеством значений $f=1,...,n$, так чтобы $(i+f-1)\in\mathbf{T}$. При этом надо учитывать (1.3.6).

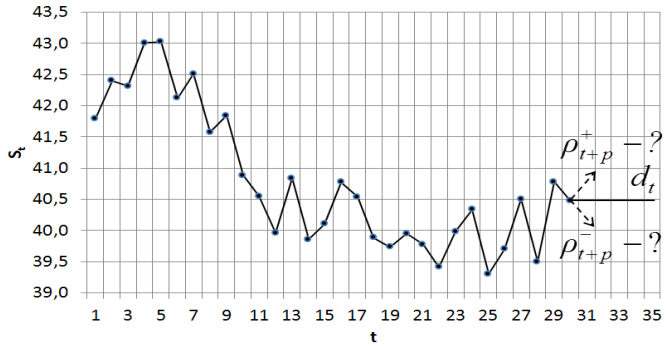


Рис. 1.4. Графическая интерпретация задачи
интервального прогнозирования при α=0

В данной работе рекомендован и используется подход, основанный на аппроксимации статистической информации (временных рядов) линейными функциями относительно параметров. Выбор только линейных функций связан с небольшим объемом статистической информации по показателям, характеризующих процесс перевозки грузов.

Важным этапом технологии прогнозирования показателей эффективности является выбор метода оценки параметров прогнозных моделей.

На практике при оценке параметров прогнозной модели только по статистическим данным, либо по статистическим данным и точечным экспертным оценкам, как правило, применяется метод наименьших квадратов (МНК), когда значения вектора параметров минимизируют функцию [2, 39, 121]

$$S(A)=\sum_{t=1}^{m}\left(y_t-\varphi(t,A)\right)^2. \qquad (1.3.7)$$

Здесь y_t – значения выбранных показателей эффективности; m – число этих значений с учетом экспертных суждений; A – вектор параметров прогнозной модели $\varphi(t,A)$, которые необходимо оценить.

В матричной форме МНК записывается следующим образом [2]

$$A=(E^TE)^{-1}(E^TY),$$

где A – искомый вектор параметров; E – матрица значений факторов; T – операция транспонирования; (-1) – операция нахождения обратной матрицы; Y – вектор исходных статистических данных.

Используются и другие методы оценки параметров прогнозной модели, например, метод наименьших модулей или обобщенный метод наименьших модулей.

Преимуществом метода наименьших модулей по отношению к МНК является меньшая зависимость оценок параметров прогнозной модели от нарушения важной предпосылки, связанной с нормальным распределением случайных ошибок [36].

Метод наименьших модулей имеет следующую целевую функцию

$$Q(A) = \sum_{t=1}^{m} \left| y_t - \varphi(t, A) \right|. \qquad (1.3.8)$$

В случае (1.3.8), когда функция $\varphi(t, A)$ линейная или может быть сведена к линейной, поиск значений параметров сводится к задаче линейного программирования, для чего вводятся вспомогательные переменные специальн ого вида [21].

Этот подход удобен, когда используются интервальные экспертные суждения [20, 21]. В данной работе выбраны точечные экспертные оценки.

Обобщенный метод наименьших квадратов

В случае нарушения предпосылок МНК, описанных выше, оценки коэффициентов модели регрессии теряют свои качества, что приводит к уху дшению качества прогнозирования. Наиболее часто это выражается наличием автокорреляции в ряду ошибки. В этом случае для оценки параметров факторных моделей рекомендуется обобщенный метод наименьших квадратов.

Рассмотрим его [76, 100]:

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 x_{1t} + \ldots + \beta_p x_{pt} + \varepsilon_t, \; t = 1, \ldots, n \qquad (1.3.9)$$

$$\varepsilon_t = \rho_1 \varepsilon_{t-1} + \xi_t, \ t = 2, ..., n,$$

где ρ_1 - коэффициент автокорреляции ошибки ε_t первого порядка; ξ_t - ошибка модели с конечной дисперсией σ_ξ^2 (неизвестна) и нулевым средним.

Так как $\varepsilon_{t-1} = y_{t-1} - \beta_0 - \beta_1 x_{1,t-1} - ... - \beta_p x_{p,t-1}$, то модель (1.3.9) можно записать следующим образом

$$y_t = \rho_1 y_{t-1} + (1-\rho_1)\beta_0 + \beta_1 x_{1t} - \rho_1 \beta_1 x_{1,t-1} + ... + \beta_p x_{pt} - \rho_1 \beta_p x_{p,t-1} + \xi_t. \quad (1.3.10)$$

Введем следующее обозначение

$$(1-\rho_1)\beta_0 = \alpha_0, \ \rho_1 \beta_1 = \alpha_1, \ \ldots, \ \rho_1 \beta_p = \alpha_p.$$

В этом случае вместо модели (1.3.10) можно записать

$$y_t = \rho_1 y_{t-1} + \alpha_0 + \beta_1 x_{1t} - \alpha_1 x_{1,t-1} + ... + \beta_p x_{pt} - \alpha_p x_{p,t-1} + \xi_t. \quad (1.3.11)$$

Отметим, что для оценки параметров модели (1.3.11) рекомендуют использовать двухшаговый МНК. На первом шаге, применяя МНК, определяют величину r_1 – оценку коэффициента автокорреляции ρ_1. Затем создаются переменные:

$$u_t = y_t - r_1 y_{t-1}, \ v_{it} = x_{it} - r_1 x_{i,t-1}, \quad (1.3.12)$$

$$i = 1,2,...,p; \ t = 2, ..., n.$$

Переменные (1.3.12) выражаются линейной зависимостью вида:

$$u_t = b_0 + b_1 v_{1t} + ... + b_p v_{pt} + w_t, \quad (1.3.13)$$

где коэффициенты $b_0, b_1, ..., b_p$ являются оценками соответствующих параметров модели (1.3.11), которые определяются с помощью МНК. В формуле (1.3.13) w_t – ошибка модели.

Выбор и применение критериев адекватности прогнозных моделей достаточно подробно описан в литературе [2, 10, 44, 57, 121]. Конкретный набор используемых в работе критериев проверки адекватности полученных прогнозных моделей рассмотрен во второй главе работы.

В работе при создании прогнозных моделей выбран регрессионный анализ. Дадим его краткое описание, используя литературу [2, 36, 37].

Описание экспериментальных значений (временного ряда), как правило, проводят следующей моделью

$$y = f(x_1, ..., x_p; \beta_1, ..., \beta_m) + \varepsilon, \quad (1.3.14)$$

где $\beta_1, ..., \beta_m$ – неизвестные параметры аппроксимирующей функции; ε – ошибка аппроксимации y посредством функции регрессии.

Если $m = p+1$ и $f(x_1, ..., x_p; \beta_0, \beta_1, ..., \beta_p) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + ... + \beta_p x_p$, то имеет место очень распространенная на практике модель множественной линейной регрессии, которая вытекает из (1.3.14)

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + ... + \beta_p x_p + \varepsilon. \quad (1.3.15)$$

Оценка уравнения множественной линейной регрессии имеет вид

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + ... + b_p x_p. \quad (1.3.16)$$

В случае (1.3.16) оценки $b_0, b_1, ..., b_p$ минимизируют сумму квадратов отклонений с учетом (1.3.15)

$$S = \sum_{i=1}^{n} (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_{1i} - ... - \beta_p x_{pi})^2 \quad (1.3.17)$$

и называются параметрами уравнения регрессии.

По МНК для получения этих оценок в случае (1.3.15) необходимо решить систему нормальных уравнений, используя численные или аналитические методы [11, 48]

$$\begin{cases} \sum y = nb_0 + b_1 \sum x_1 + b_2 \sum x_2 + ... + b_p \sum x_p, \\ \sum y x_1 = b_0 \sum x_1 + b_1 \sum x_1^2 + b_2 \sum x_1 x_2 + ... + b_p \sum x_p x_1, \\ ..... \\ \sum y x_p = b_0 \sum x_p + b_1 \sum x_1 x_p + b_2 \sum x_2 x_p + ... + b_p \sum x_p^2. \end{cases} \quad (1.3.18)$$

Для удобного применения регрессионного анализа результаты рекомендуется записывать в таблицу дисперсионного анализа (табл. 1.5).

В таблице 1.5 величину SS_R называют остаточной суммой квадратов. Эта величина равна

$$SS_R = \sum_{i=1}^{n} (y_i - b_0 - b_1 x_{1i} - ... - b_p x_{pi})^2. \quad (1.3.19)$$

Таблица 1.5

Таблица дисперсионного анализа

Источник дисперсии	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F - отношение
Регрессия	$SS_D = \sum_{i=1}^{p} b_i \sum (x_{ij} - \bar{x}_i) y_i$	$\nu_D = p$	$MS_D = \frac{SS_D}{\nu_D}$	$F = \frac{MS_D}{MS_R}$
Ошибка	$SS_R = SS_T - SS_D$	$\nu_R = n - p - 1$	$MS_R \equiv s^2 = \frac{SS_R}{\nu_R}$	
	$SS_T = \sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2$	$\nu_T = n - 1$		

В таблице дисперсионного анализа величина (1.3.19) определяется как разность величин (табл. 1.5).

Величины, равные частному от деления сумм квадратов на число степеней свободы, называют средними квадратами. Зная эти величины находят значение F -отношения (табл. 1.5), которое затем сравнивается с критическим значением.

Подводя итоги этого параграфа, сделаем следующие выводы:

1) В работе в качестве прогнозных моделей рекомендуются линейные относительно параметров функции. Их перечень будет обоснован в главе 2;

2) Помимо статистической рекомендуется использовать экспертную информацию в виде точечных суждений;

3) Для оценки параметров прогнозных моделей рекомендуется метод наименьших квадратов (1.3.7).

1.4. Анализ методов принятия управленческих решений

Математической основой принятия решений в условиях неопределе нности и риска является имитационное моделирование, теория вероятностей,

математическая статистика и исследование операций [15, 37, 40, 49, 50, 93, 115, 119, 120].

Операция являются рискованной, если она может иметь несколько исходов, не равнозначных для лица принимающего решение, заинтересованного в успехе операции [117]. Так как теория принятия решений имеет большое значение для практики, то этому направлению уделено значительное внимание в литературе [50, 65, 66, 84, 85, 89, 90, 112, 113, 117].

В практических приложениях большое распространение имеет задача принятия решений, когда из некоторого набора альтернативных вариантов построения объекта требуется выбрать наилучший в определенном смысле вариант.

При формализации модели выбора используется два основных подхода: 1) использование бинарных отношений; 2) использование частных критериев для описания вариантов.

Использование бинарных отношений является более общим по сравн ению с критериальным подходом, так как не требует числовой или качественной оценки каждого варианта [107]. В реальных приложениях чаще используется критериальный подход, причем, как правило, число критериев больше единицы (многокритериальный выбор).

Данную задачу можно сформулировать следующим образом [117]. Имеется множество альтернатив (вариантов)

$$X=(x_1 \ldots, x_i, \ldots, x_n). \qquad (1.4.1)$$

Предполагается, что каждый из вариантов можно оценить по m частным (локальным) критериям. Эти критерии могут принимать числовые значения или оцениваться порядковыми шкалами: y_{ij} – значение j-го частного критерия для i-го варианта, $j=1,\ldots,m$.

Частные критерии могут либо максимизироваться, либо минимизироваться. Кроме того, эти критерии можно сравнивать между собой по важности.

При сравнении вариантов по значениям частных критериев вводят понятие отношение доминирования по Парето, что позволяет из исходного множества вариантов сформировать множество Парето (множество недоминируемых по Парето вариантов) [90]. Варианты, попавшие во множество Парето, являются «одинаковыми» по качеству. Это множество может быть достаточно большим, в то время как пользователя (лица принимающего решение – ЛПР) интересует «наилучший» вариант.

Чтобы выбрать наилучший вариант необходима дополнительная информация, как правило экспертная. В этом направлении широко используе тся ранжирование объектов на основе метода анализа иерархий [84, 93, 95].

При принятии решений выделяется класс задач, когда выбор наилучшего варианта осуществляется при использовании многих критериях в условиях неопределенности. Процесс прогнозирования базовых показателей также осуществляется в условиях неопределенности, поэтому рассмотрим этот вопрос.

Рассмотрим распространенные модели, которые используются в этом случае. Исходная информация:

1) множество альтернатив (1.4.1);

2) множество состояний исследуемой системы $Y=(y_1 \ldots, y_j, \ldots, y_m)$;

3) матрица выигрыша, оценивающая связи между альтернативами и состояниями, $B=(b_{ij})$, $i=1,\ldots,n$, $j=1,\ldots,m$;

4) матрица вероятностей перехода, оценивающая связи между альте рнативами и состояниями, $P=(p_{ij})$, $i=1,\ldots,n$, $j=1,\ldots,m$.

Далее, имея эту информацию, вычисляют:

а) минимальный выигрыш – $B_i^{min}=min_j\, bij$, $i=1,\ldots,n$;

б) максимальный выигрыш – $B_i^{max}=max_j\, b_{ij}$, $i=1,\ldots,n$;

в) риски, которые оценивают связи между альтернативами и исходами

$$r_{ij}= B_i^{max}- bij\ ,\ i=1,\ldots,n,\ j=1,\ldots,m;$$

г) максимальные риски для каждого решения

$$r_i^{max}=max_j\, r_{ij},\ i=1,\ldots,n;$$

д) средние риски для альтернатив

$$r_i^c = \sum_j p_{ij} \cdot rij \ , \ i=1,\ldots,n; \qquad (1.4.2)$$

е) средние значения выигрышей для альтернатив

$$B_i^c = \sum_j pij \cdot b_{ij} \ , \ i=1,\ldots,n; \qquad (1.4.3)$$

ж) оптимальную альтернативу, для которой величина (1.4.3) максимальна – $max_i \ B_i^c$;

з) оптимальную альтернативу, для которой средний риск (1.4.2) минимален – $min_i \ r_i^c$;

При выборе решений в условиях риска рекомендуют следующие критерии [117]:

1) критерий Вальда, когда выбирается альтернатива, для которой выполняется условие

$$max_i \ min_j \ b_{ij}. \qquad (1.4.4)$$

По критерию (1.4.4) выбирается альтернатива, для которой гарантируется максимальный выигрыш в наихудших условиях;

2) критерий Сэвиджа, когда выбирается альтернатива, для которой выполняется условие

$$min_i \ max_j \ r_{ij}. \qquad (1.4.5)$$

По критерию (1.4.5) выбирается альтернатива, для которой величина риска имеет минимальное значение в самой неблагоприятной ситуации;

3) критерий Гурвица, когда выбирается альтернатива, для которой выполняется условие

$$max_i \ [c \cdot min_j \ b_{ij} + (1-c) \cdot max_j \ b_{ij}], \qquad (1.4.6)$$

где c – показатель пессимизма-оптимизма, $0 < c < 1$.

По критерию (1.4.6) выбирается альтернатива, для которой гарантируется максимальный выигрыш в компромиссной ситуации.

Учитывая разнообразие используемых частных критериев, их значения предварительно рекомендуется нормализовать, при этом, как правило, осуществляют преобразование на интервал (0, 1). Дополнительно при этом

происходит выравнивание целей критериев – они будут все максимизироваться. Для этого:

а) если критерий максимизируется, то нормализованное значение равно

$$yij^{*}=(y_{ij}-y_j min)/(y_j^{max}-y_j min);$$

б) если критерий минимизируется, то нормализанное значение равно

$$yij^{*}=(y_j^{max}-yij)/(y_j^{max}-y_j min).$$

Здесь: y_{ij} – ненормализованное значение j-го частного критерия для i-го сценария, $i=1,...,n$; $j=1,...,m$; y_j^{max}, y_j^{min} – максимальное и минимальное значение j-го частного критерия.

Одним из распространенных подходов при выборе наилучшего сценария является метод взвешивания частных критериев, когда при их взвешивании используются весовые коэффициенты, которые оценивают их важность. На практике распространена аддитивная (линейная) модель, когда интегральный (комплексный, обобщенный) критерий равен

$$y_i^o=\sum_{j=1}^{m} w_j y_{ij}^{*},\ \sum_{j=1}^{m} w_j=1,\ i=1,...,n, \qquad (1.4.7)$$

где w_j – весовой коэффициент для j-го частного критерия.

Наилучшим является сценарий, у которого интегральный критерий имеет максимальное значение. Номер этого сценария равен

$$in=arg[max_i(y_i^o)].$$

В работе [65] для задачи выбора наилучшей альтернативы из множества возможных вариантов рекомендованы следующие методы:

1) методы на основе количественных характеристик (эвристические подходы, многокритериальная теория полезности;

2) методы на основе качественных характеристик, которые затем переводятся в количественные, метод анализа иерархий, методы теории полезности;

3) методы сравнительного превосходства;

4) методы на основе качественных характеристик без перехода к количественным.

В соответствие с рекомендациями различных работ, наибольшей практической привлекательностью обладают методы теории полезности, методы теории нечетких множеств и метод анализа иерархий.

Рассмотрим некоторые модели, используемые в наибольшей степени на практике, уделив при этом внимание вычислению весовых коэффициентов. При вычислении весовых коэффициентов используется значительное число методов [6, 57].

Большее распространение и применение среди моделей вычисления весовых коэффициентов имеют методы, основанные на парных сравнениях, которые подготавливают эксперты. Здесь следует выделить метод анализа иерархий [57, 93].

В некоторых работах рекомендуется использовать модифицированный метод анализа иерархий, что связано с двумя причинами:

1) результат единичной нормировки может привести к тому, что доминирования, полученные на множестве вариантов, могут не совпадать с «локальными» предпочтениями на подмножестве вариантов;

2) в некотором классе многокритериальных задач, используя линейную свертку, не всегда можно найти «наилучшее» решение. В частности это относится к описываемым выше Парето-оптимальным решениям [90].

Кратко рассмотрим метод анализа иерархий (МАИ), как достаточно распространенный метод определения весовых коэффициентов [93].

Особенностью МАИ является использование суждений экспертов, которые можно проверить на непротиворечивость, применяя формализованную математическую обработку экспертных суждений.

В простейшем случае, когда нет связанных иерархий, группа экспертов совместно подготавливает матрицу суждений

$$A = \left(a_{ij}\right), i, j = \overline{1,m}, \qquad (1.4.8)$$

где a_{ij} – совместные суждения экспертов.

Суждения a_{ij} имеют два важных свойства:

1) если $a_{ij} = \alpha$, то $a_{ji} = 1/\alpha, \alpha \neq 0$;

2) если суждения таковы, что один показатель имеет одинаковую с другим показателем относительную важность, то aij=1.

В результате перечисленных свойств, диагональные элементы матрицы суждений (1.4.8) a_{ii} равны единице, при этом сама матрица является обратно-симметричной.

Суждения определяются в соответствии с таблицей 1.6 [93]:

если эксперты считают, что показатель z_i явно важнее показателя z_j, то это 4-ая строка и в качестве суждения можно взять число из диапазона (6-8), (число 6);

1) если показатель z_i находится в противоположном отношении к показателю z_j, то суждение (в $a_{ij} = 1/a_{ji}$ нашем случае 1/6).

Таблица 1.6

Определение экспертных суждений

№	Относительная важность показателей	a_{ij}
1	показатель z_i и показатель z_j одинаково важны	1-2
2	показатель z_i незначительно важнее показателя z_j	2-4
3	показатель z_i значительно важнее показателя z_j	4-6
4	показатель z_i явно важнее показателя z_j	6-8
5	показатель z_i абсолютно превосходит показатель z_j	8-9

При расчете весовых коэффициентов необходимо вычислить вектор *W*, решая уравнение

$$A \cdot \mathrm{W} = \lambda_{\max} \cdot \mathrm{W}, \qquad (1.4.9)$$

где $\lambda_{\max}$ – наибольшее собственное значение матрицы суждений A,

$$\lambda_{\max} = \lim_{l \to \infty} \left[\sum_{i=1}^{n} a_{ii}^{l} \right]^{\frac{1}{l}}. \qquad (1.4.10)$$

Значение наибольшего собственного значения (1.4.10) далее используется при вычислении другого показателя – индекса согласованности. Этот показатель оценивает следующий факт: как сильно значение наибольшего собственного значения $\lambda_{\max}$ отличается от m (в нашем случае частных значений)

$$IS = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1} \ .$$

Далее, при известном значении индекса согласованности, рекомендуется найти отношение согласованности. Это отношение оценивает качество экспертных суждений с точки зрения их непротиворечивости.

Индекс согласованности вычисляется следующим образом

$$OS = \frac{IS}{SI(I)} . \qquad (1.4.11)$$

В формуле (1.4.11) величину называют $SI(m)$ случайным индексом (табл. 1.7). Значения в таблице 1.7 определены методом Монте-Карло, они имеются в специальной литературе; m – размерность матрицы суждений (1.4.8).

Таблица 1.7

Значения случайного индекса (2.4.6)

m	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$SI(m)$	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56

Значения $OS \le 0{,}1$ считаются практически приемлемыми (эксперты обладают требуемой квалификацией). Возможность проверки согласованности (непротиворечивости) экспертных суждений (квалифицированности экспертов) является положительной стороной метода анализа иерархий.

1.5. Цель и задачи работы

В настоящее время УБЖД сохраняет ведущее положение при осущес твлении грузовых перевозок Монголии. В условиях рыночных преобразований экономики страны особое значение имеет стабильность функционирования железнодорожного транспорта, который служит связующим звеном для всех отраслей народного хозйства.

Проведенный анализ показал, что перевозочный процесс железнодорожным транспортом является сложной системой, функционирующий в условиях неопределенности и риска. Сложность перевозочного процесса определяется во многом тем, что железнодорожные объекты взаимодействуют между собой через процессы, которые они реализуют.

С целью создания единой базы данных и развития информационных технологии на УБЖД функционирует Центр статистического учета и информационных технологий, содержащий три отдела.

По мере развития этого центра, создано около 800 АРМ различного назначения, функционирующих на единой системе управления базами данных. Несмотря на большое число АРМов и обслуживающих их программных комплексов, отсутствует программное обеспечение, посвященное прогнозированию базовых показателей, характеризующих перевозочный процесс железнодорожным транспортом на УБЖД.

В связи с этим, необходимо разработать алгоритмическое, методическое и программное обеспечение для прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса железнодорожным транспортом для поддержки принятия управленческих решений, связанных с процессом перевозки грузов на УБЖД.

Все это обосновывает актуальность диссертационной работы и позволяет сформулировать ее цель и задачи.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности принятия управленческих решений по перевозке грузов за счет разработки и применения алгоритмического и программного обеспечения комплексного прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса.

Реализация сформулированной цели достигается решением следующих *задач*:

1. Обоснование комплексного прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса железнодорожным транспортом на основе сравнительного анализа программно-алгоритмических средств и методов прогнозирования.

2. Создание алгоритмического обеспечения многофакторных моделей прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса, включая разработку методики их применения.

3. Выбор алгоритмов оценки параметров факторных моделей с учетом статистической и экспертной информации, применительно к комплексному прогнозированию базовых показателей.

4. Создание программного продукта по комплексному прогнозированию, реализующего разработанное алгоритмическое обеспечение, включая его апробацию по информации Улан-Баторской железной дороги.

2. АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БАЗОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА

Данная глава посвящена созданию алгоритмического обеспечения и разработанного на его основе программного продукта для комплексного прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса железнодорожным транспортом с учетом возможных сценариев его развития.

Созданное алгоритмическое обеспечение прогнозирования базовых показателей использует результаты анализа литературных источников, приведенных в главе 1.

2.1. Формализация процедуры комплексного прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса

Как уже отмечалось в параграфе 1.1, эффективность перевозочного процесса в будущем можно оценить, зная прогнозные значения его базовых показателей. Такими показателями на УБЖД принято считать грузооборот (y_1) и погрузку грузов (y_2).

Методика технологии задачи прогнозирования состоит из нескольких этапов:

1) выбор показателей эффективности, прогнозирование которых требуется провести. Прогнозируемые показатели можно ранжировать по важности. На этом же этапе происходит накопление исходных данных по всем интересующим пользователя показателям;

2) подбор и обоснование прогнозных функций (моделей), которые могут быть однофакторными (линейными, нелинейными), многофакторными или комплексными;

3) выбор метода оценки параметров обоснованных прогнозных моделей (метод наименьших квадратов, обобщенный метод наименьших квадратов или иной метод);

4) выполнение процедур проверки адекватности полученных прогнозных моделей;

5) проведение прогнозирования показателей эффективности, проверка адекватности полученных результатов, принятие управленческих решений.

Применим данную технологию применительно к перевозочному процессу железнодорожным транспортом.

Перевозочный процесс железнодорожным транспортом является сложной системой, так как содержит множество компонент, находящихся в различных связях. Этими компонентами являются: служба пути, вагонное хозяйство, служба тяги, автоматика и связь и др. Эти компоненты описываются в отчетности различными показателями, которые мы будем называть факторами. Приведем их перечень, используемый на УБЖД:

y_1 – грузооборот, млн.ткм;

y_2 – погрузка, тыс.тн;

x_1 – статическая нагрузка, тн;

x_2 – оборот вагона, сут;

x_3 – простой вагонов под одной грузовой операцией, вагоно-часов;

x_4 – средняя зарплата, млн.тугр;

x_5 – себестоимость, млн.тугр/млн.ткм;

x_6 – средний вес поезда, тн брутто;

x_7 – техническая скорость, км/час;

x_8 – участковая скорость, км/час;

x_9 – среднесуточный пробег локомотива, км/сут;

x_{10} – эксплуатационный парк локомотивов, лок/сут.

Еще раз подчеркнем, что первые два показателя (у1, y_2) являются базовыми (основными), именно эти значения необходимо прогнозировать. Остальные показатели (x_1–x_{10}) являются влияющими факторами.

В диссертационной работе предлагается подход с позиций системного анализа, направленный на повышение качества системы поддержки принятия управленческих решений за счет применения комплексного прогнозирования базовых показателей. Комплексное прогнозирование основано на том, что для оценки значений базовых показателей в будущем, предлагается использовать четыре вида данных, различным образом оценивающих перевозочный процесс железнодорожным транспортом:

а) значение, полученное по многофакторной модели первого порядка;

б) значение, полученное по многофакторной модели второго порядка;

в) значение, полученное по временному ряду;

г) точечное экспертное суждение группы квалифицированных специалистов.

Многофакторные модели включают различные значимые факторы, системно характеризующие перевозочный процесс, а экспертную информацию эксперты также формируют с учетом множества факторов. Все это позволяет говорить о системном подходе к прогнозированию базовых показателей перевозочного процесса.

Общая схема комплексного прогнозирования базовых показателей приведена на рисунке 2.1. Дадим ее описание.

Комплексное прогнозирование основано на двух видах информации: а) статистической, которая формируется Центром статистического учета и информационных технологий УБЖД (функции этого центра приведены в параграфе 1.1); б) экспертной, в виде точечных суждений и рангов, полученных от группы квалифицированных специалистов УБЖД.

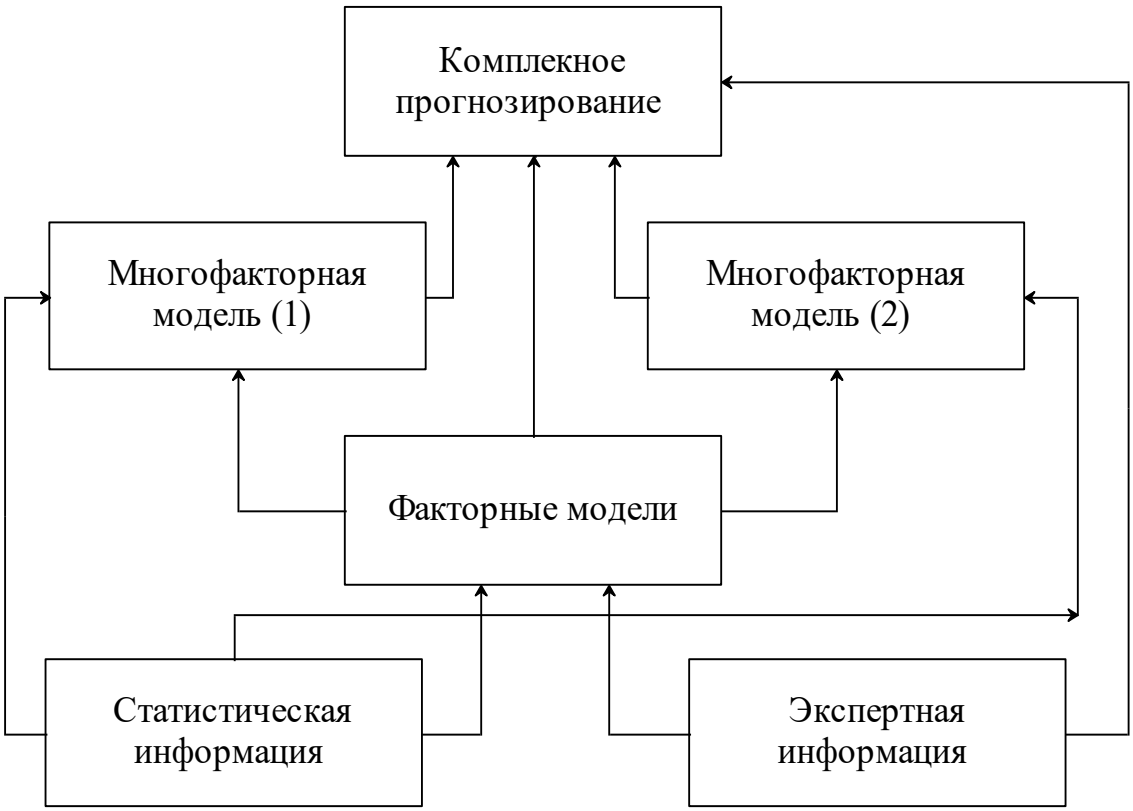


Рис. 2.1. Общая схема комплексного прогнозирования базовых показателей

Отбор существенных факторов

Статистическая информация имеется за несколько последних лет (в работе используется статистика с 2000 года) и по базовым показателям и по влияющим факторам.

Поиск существенных факторов, которые затем используются в многофакторных моделях, является одним из основных условий, обеспечивающих их качество [2, 10, 25, 26, 36].

Задача поиска существенных факторов решается на основе содерж ательного (вербального) и статистического анализа рассматриваемой пре дметной области.

На этапе вербального анализа рассматривается задача целесообразности включения в многофакторную модель тех или иных факторов. Но на основании этого анализа однозначно определить состав существенных независимых

факторов определить практически невозможно. Факторы, выражающие одну и ту же причину, как правило коррелированны между собой, поэтому одновременное их включение в многофакторную модель нецелесообразно [2, 10, 76] (одна и та же причина будет учитываться дважды).

В связи с выше сказанным, первоначально влияющие факторы проверяются на коррелированность между собой. При реализации этого этапа на практике используют выборочные значения парного коэффициента корреляции между *i*-м и *j*-м факторами $r_{x_i x_j}$ [1, 36, 37, 102].

Выборочное значение парного коэффициента корреляции для переменных *x* и *y* имеет вид [36]

$$r_{xy} = \frac{\overline{xy} - \overline{x} \cdot \overline{y}}{s(x) \cdot s(y)}. \qquad (2.1.1)$$

Здесь переменные с чертой – оценки математического ожидания; *s(x)*, *s(y)* – оценки среднеквадратического значения.

Если выполняется условие

$$\left| r_{x_i x_j} \right| > (0{,}7 - 0{,}8), \qquad (2.1.2)$$

то между этими факторами имеется существенная связь. В этом случае один из факторов рекомендуется исключить, чтобы одна и та же причина не учитывалась дважды. Далее, учитывая условие (2.1.2), можно оставить только существенные факторы. Подробнее выбор существенных факторов будет рассмотрен в главе 3, посвященной апробации созданного алгоритмического обеспечения.

Создание многофакторных моделей

Существенные факторы рекомендуются для создания многофакторной модели первого порядка (многофакторная модель (1) на рисунке 2.1)

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + ... + a_p \cdot x_p. \qquad (2.1.3)$$

Используя метод наименьших квадратов, а также значения основных показателей и существенных факторов, находятся значения параметров (к оэффициентов) модели (2.1.3) для грузооборота y_1 и для погрузки грузов y_2.

Учитывая, что модель (2.1.3) линейна относительно параметров, нео бходимо на значения факторов наложить ограничения (каждый фактор может меняться от своего минимального значения до максимального)

$$x_{minj} < x_j < xmaxj,\ j=1,\ldots,p\ . \qquad (2.1.4)$$

Далее проводится дополнительный статистический анализ полученных моделей с проверкой значимости коэффициентов прогнозных моделей – H_0: $b_j=0$, H_1: $b_j\neq 0$, j – номер коэффициента. В качестве критерия рекомендуется использовать t-статистику [2]

$$t_j=a_j/s(a_j)\rightarrow t(v_0)\ ,\quad j=0,1,\ldots,p, \qquad (2.1.5)$$

где a_j – оценки коэффициентов b_j, полученные методом наименьших квадратов; $s(a_j)$ – оценки среднеквадратического отклонения коэффициентов a_j; величина (2.1.5) при известных ограничениях [2] имеет t-распределение с числом степеней свободы $v_0= n-p-1$, где n – объем выборки, а p – число факторов в многофакторной модели.

Значения (2.1.5) по модулю необходимо сравнить с критическим знач ением $t_{кр}\rightarrow t(n-p-1,\ a/2)$, полученного при уровне значимости a=0,05 и числе степеней свободы $n-p-1$. Тем самым, в результате проведенного дополн ительного статистического анализа по каждому базовому показателю выделяются значимые факторы.

В схеме на рисунке 2.1, используемая статистическая информация относится к базовым показателям (грузообороту и погрузке грузов) и к значимым факторам по каждому из этих показателей. Подробнее создание многофакторных моделей будет рассмотрено в параграфе 2.2.

В работе, помимо создания для базовых показателей многофакторных моделей первого порядка предлагается для значимых факторов создать многофакторные модели второго порядка вида (многофакторная модель (2) на рисунке 2.1)

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + ... + a_p \cdot x_p + a_{11} \cdot x_1^2 + a_{22} \cdot x_2^2 + ... + a_{pp} \cdot x_p^2 \qquad (2.1.6)$$

Используя метод наименьших квадратов, а также значения основных показателей и значимых факторов, находятся значения коэффициентов модели (2.1.6) для грузооборота y_1 и для погрузки грузов y_2.

Для модели (2.1.6) также необходимо накладывать ограничения на значения факторов (2.1.4).

Далее проводится дополнительный статистический анализ полученных моделей с проверкой значимости коэффициентов прогнозных моделей – H_0: $b_j=0$, H_1: $b_j\neq0$, j – номер значимого фактора. В качестве критерия используется t-статистика (2.1.5).

Создание факторных моделей и осуществление комплексного прогнозирования

В технологии комплексного прогнозирования по каждому фактору предлагается подбирать прогнозные функции (факторные модели) на основе статистической информации в виде временных рядов с возможным дополн ительным учетом экспертной информации в виде точечных суждений.

В связи с этим, по каждому базовому показателю и по каждому значимому фактору предлагается создавать по две прогнозные модели:

а) на основе только статистических данных (модель временного ряда);

б) на одновременном использовании статистических данных и экспер тных точечных суждений на прогнозируемый год (смешанная модель).

По полученным факторным моделям осуществляется прогнозирование на интересующий пользователя год. Полученные результаты прогноза по базовым показателям предлагается использовать при их комплексном прогнозировании. Результаты прогноза по значимым факторам предлагается использовать при вычислении базовых показателей по многофакторным моделям первого и второго порядка.

Далее эти три значения по каждому базовому показателю (факторное, по многофакторной модели первого и второго порядка), а также их экспертное значение на интересующий пользователя год используются с различными весами при комплексном прогнозировании.

Использование различной экспертной информации позволяет создавать различные сценарии поведения перевозочного процесса в будущем, характеризуемого базовыми показателями. Подробнее вопросы, связанные с созданием факторных моделей и технологией комплексного прогнозирования, рассмотрены в параграфах 2.3 и 2.4.

2.2. Создание многофакторных моделей для базовых показателей

В диссертационной работе показано, что для прогнозирования базовых показателей достаточно учитывать незначительное число существенных фа кторов, обеспечивая при этом необходимую точность их вычисления.

Как уже отмечалось в параграфе 2.1, при решении задачи комплексного прогнозирования базовых показателей, рекомендовано находить два вида многофакторных моделей их вычисления – первого порядка (2.1.3) и второго порядка (2.1.6).

Так как факторы не существенно коррелированны, то параметры многофакторных моделей оцениваются методом наименьших квадратов. В наших обозначениях минимизируется функция

$$S = \sum_{i=1}^{n} (y_i - y_p)^2. \qquad (2.2.1)$$

Здесь y_i – статистические значения базовых показателей по годам; y_p – расчетные значения по моделям (2.1.3) либо (2.1.6), зависящие от искомых параметров; n – число лет в статистических данных (длина временного ряда).

После того, как в многофакторных моделях остались лишь значимые факторы, они проверяются на адекватность. При этом используются различные критерии, описанные ниже (Фишера, Дарбина-Уотсона и др.).

В работе предлагается дополнительно вычислять относительные отклонения в процентах по каждому году для расчетных по моделям (y_{rasch}) и наблюдаемым значениям (y_{nabl}) основных показателей. Эти отклонения рассчитаны по формуле (2.2.2)

$$O.O.y = \frac{|y_{nabl} - y_{rasch}|}{y_{nabl}} \cdot 100. \qquad (2.2.2)$$

Для проверки значимости разности пар, полученных по расчетным значениям многофакторных моделей первого и второго порядка, предлагается использовать t-статистику вида [2]

$$t_p = \frac{\tilde{d}}{S_{\tilde{d}}} \to t(\upsilon_0 = n-1) \ , \qquad (2.2.3)$$

$$\tilde{d} = \frac{\sum_{j=1}^{n} d_j}{n}, \; d_j = x_j - y_j,$$

$$S_{\tilde{d}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n} d_j^2 - \frac{\left(\sum_{j=1}^{n} d_j\right)^2}{n}}{n(n-1)}}. \qquad (2.2.4)$$

Здесь x_j и y_j – расчетные значения грузооборота или объема погрузки грузов по модели первого и второго порядка для j-го года, $j = \overline{1,n}$, n – число лет (объем выборки). Статистика (2.2.3) проверяет гипотезу о том, что математическое ожидание отклонений (d) равно нулю. Технология использования этой статистика будет приведена в главе 3.

Для проверки важной предпосылки о нормальности выборочных (статистических) данных, участвующих в методе наименьших квадратов, предл агается проводить проверку гипотезы

$$H_0: F_o(x)=F_e(x), \qquad (2.2.5)$$

где $F_o(x)$ – искомая функция распределения (в нашем случае нормальное распределение); $F_e(x)$ – эмпирическая функция распределения, полученная по статистическим данным. Расчетное значение статистики сравнивается с кр итическим значением, зависящим от уровня значимости. Из проведенного сравнения выбирается основная (2.2.5) или альтернативная гипотеза.

На практике широко используется критерий согласия χ^2 [2, 51], для которого требуется достаточно большой объем статистических данных. В нашем случае этот объем небольшой, поэтому рекомендован модифицированный критерий Колмогорова [51].

Считается, что критерий Колмогорова хорошо обнаруживает отклонения от нормального закона как раз при малых объемах выборок. Критерий Колмогорова имеет вид [51]

$$D_n = max\,(D_n^+, D_n^-), \qquad (2.2.6)$$

где

$$D_n^+ = max_i[i/n - F_o(x_i)];$$

$$D_n^- = max_i[F_o(x_i) - (i-1)/n].$$

Колмогоровым доказано, что критерий согласия (2.2.6) хоть и зависит от объема выборки n, но зато не зависит от искомой функции $F_o(x)$. Но это при условии, что параметры этой функции распределения известны.

В случае, когда параметры функции распределения не известны, а определяются по статистическим данным и их необходимо оценить, созданы специальные модифицированные статистики и критические значения к ним, полученные методом Монте-Карло. Этими модифицированными статистиками являются критерии Стефанса, Лиллиефорса, а также другие.

В работе рекомендована поправка Лиллиефорса и критические значения к ней. При модифицированном критерий Колмогорова с поправкой Лиллиефорса для нормального распределения принимается гипотеза H_0 (2.2.5), когда

$$D_n\,(\sqrt{n} - 0{,}01+0{,}85/\sqrt{n}) < d(0{,}05)=0{,}895. \qquad (2.2.7)$$

В критерии (2.2.7) $d(0{,}05)$ – критическое значение при уровне значимости 0,05. Положительной стороной этого значения является то, что оно не зависит от конкретного объема выборки n и при выбранном уровне значимости равно 0,895.

В таблице 2.1 приведены значения по грузообороту (y_1, млрд.ткм) и по объему погрузки грузов (y_2, млн.тн) за 2000-2014 годы, применительно к УБЖД; объем выборки n=15.

Таблица 2.1

Значения базовых показателей

P	y_1	y_2
2000	4,293	6,783
2001	5,287	7,131
2002	6,452	7,512
2003	7,255	7,593
2004	8,857	7,986

P	y_1	y_2
2005	9,929	9,000
2006	9,218	9,057
2007	8,361	9,218
2008	8,261	10,456
2009	7,852	10,318
2010	10,287	12,784
2011	11,419	14,372
2012	12,143	16,222
2013	12,077	16,606
2014	12,474	16,538

Найдем значения критерия Колмогорова (2.2.6) для этих показателей и проверим условие (2.2.7):

а) грузооборот – Dn =0,105;

$$D_n\ (\sqrt{n}\ - 0{,}01+0{,}85/)=0{,}412\sqrt{n}\ < d(0{,}05)=0{,}895;$$

б) погрузка грузов – D_n *=0,202;*

$$D_n\ (\sqrt{n}\ -\ 0{,}01+0{,}85/\sqrt{n}\ )=0{,}792 < d(0{,}05)=0{,}895.$$

Учитывая, что полученные значения модифицированной статистики Колмогорова (2.2.7) меньше критического значения (0,895), гипотезу о нормальности генеральной совокупности базовых показателей при уровне

значимости 0,05 можно принять. Тем самым подтверждена важная предпосылка регрессионного анализа, необходимая для повышения адекватности прогнозных моделей для базовых показателей.

Этот факт будет учитываться при создании и использовании прогнозных моделей.

2.3. Алгоритмическое обеспечение факторных прогнозных моделей

Как уже отмечалось выше, перевозочный процесс железнодорожным

транспортом характеризуется различными показателями. Базовыми показат елями, системно характеризующие перевозочный процесс, являются грузооборот за год и объем погрузки грузов за год. Дополнительно используются значимые факторы, влияющие на многофакторные модели первого и второго порядка базовых показателей.

По всем этим показателям имеются временные ряды, дополнительно рекомендуется использовать точечные экспертные суждения по ним на пр огнозный год.

В связи с этим, эти временные ряды достаточно короткие (с 2000 года), в качестве факторных прогнозных моделей выбраны функции, которые после преобразований можно считать линейными относительно параметров (не рассматриваются нелинейные прогнозные функции, например, кривая Гомперца [1, 76]).

Рекомендованы четыре функции:

1) полиномиальная

$$y(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + ... + a_n t^n; \qquad (2.3.1)$$

2) экспоненциальная

$$y(t) = ab^t; \qquad (2.3.2)$$

3) в виде логарифмической параболы

$$y(t) = ab^t c^{t^2}; \qquad (2.3.3)$$

4) логистическая

$$y(t) = \frac{k}{1 + b \cdot e^{-at}}. \qquad (2.3.4)$$

Параметры полиномиальной функции (2.3.1) определяются по МНК (2.2.1). Функция (2.3.2) логарифмированием сводится к полиному первой степени. Далее можно использовать МНК.

Покажем, как логарифмированием можно логарифмическую параболу свести к линейной функции:

$$y = ab^t c^{t^2} \Leftrightarrow \ln y = \ln\left(ab^t c^{t^2}\right) \Leftrightarrow \ln y = \ln a + \ln b^t + \ln c^{t^2}$$
$$\Leftrightarrow \ln y = \ln a + \ln b \cdot t + \ln c \cdot t^2. \quad (2.3.5)$$

В результате, после подстановки, модель (2.3.5) можно преобразовать к полиномиальной функции (2.3.1) при $n = 2$:

$$z = a_1 + b_1 \cdot t + c_1 \cdot t^2, \quad \text{где} \quad z = \ln y; a_1 = \ln(a); \quad b_1 = \ln(b), \quad c_1 = \ln(c). \quad (2.3.6)$$

В дальнейшем можно применить МНК и получить оценки параметров a_1, b_1 и c_1, из которых можно выразить основные параметры a, b, c:

$$a = e^{a_1},\ b = e^{b_1},\ c = e^{c_1}. \quad (2.3.7)$$

Логистическая функция (2.3.4) является решением дифференциального уравнения

$$\frac{dy}{dt} = Ky(A - y), \text{ где } A = a,\ K = \frac{k}{a},\ C = \frac{\ln\left(-\frac{1}{b}\right)}{a}.$$

Эта функция характеризует развитие показателя во времени, когда нарастающий рост на начальном периоде сменяется замедляющимся ростом далее (значение показателя стремится к значению k.) Если значение параметра k известно, то значения параметров a и b можно определить МНК.

Рассмотрим наиболее распространенные методы определения параметров для логистической функции [76, 118].

Метод трех сумм

Если логистическая функция представлена в виде (2.3.4), то метод трех сумм для оценки параметров можно применить следующим образом. Разобьем весь ряд наблюдений на 3 равных подпериода. Обозначим сумму значений функции (уровни) для каждого подпериода: $\sum_1 y_t$, $\sum_2 y_t$, $\sum_3 y_t$.

Соответствующие суммы обратных значений уровней равны $\sum_1 \frac{1}{y_t}, \sum_2 \frac{1}{y_t}, \sum_3 \frac{1}{y_t}$, тогда $\sum_1 \frac{1}{y_t} = \frac{1}{k} \cdot (m + bc)$, $\sum_2 \frac{1}{y_t} = \frac{1}{k} \cdot \left(m + bce^{-ma}\right)$, $\sum_3 \frac{1}{y_t} = \frac{1}{k} \cdot \left(m + bce^{-2ma}\right)$, где $c = \frac{1 - e^{-na}}{1 - e^{-a}}$.

Определим теперь разности:

$$D_1 = \sum\nolimits_1 \frac{1}{y_t} - \sum\nolimits_2 \frac{1}{y_t} = \frac{bc}{k} \cdot \left(1 - e^{-m_1 a}\right),\ D_2 = \sum\nolimits_2 \frac{1}{y_t} - \sum\nolimits_3 \frac{1}{y_t} = \frac{bc}{k} \cdot e^{-m_1 a} \cdot \left(1 - e^{-m_1 a}\right).$$

Отсюда отношение разностей составит: $\frac{D_2}{D_1} = e^{-m_1 a}$ и таким образом, $a = \frac{1}{m_1} \cdot \left(\ln D_1 - \ln D_2\right)$. Далее используя соотношение $\frac{D_1^2}{D_1 - D_2} = \frac{bc}{k}$, находим, что $\frac{bc}{k} = \sum\nolimits_1 \frac{1}{y_t} - \frac{m_1}{k}$,

$$a = \frac{1}{m_1} \cdot \left(\ln D_1 - \ln D_2\right),\ k = m_1 : \left(\sum\nolimits_1 \frac{1}{y_t} - \frac{D_1^2}{D_1 - D_2}\right),\ b = \frac{k}{c} \cdot \frac{D_1^2}{D_1 - D_2}. \qquad (2.3.8)$$

Метод Родса [118]

В этом методе сначала с помощью регрессии оцениваются параметры k и a, а затем параметр b.

$$y_t = \frac{k}{1 + be^{-at}};\quad y_{t+1} = \frac{k}{1 + be^{-a(t+1)}}.$$

Рассмотрим разность:

$$\frac{1}{y_{t+1}} - \frac{1}{y_t} = \frac{1 + be^{-a(t+1)}}{k} - \frac{1 + be^{-at}}{k} = \frac{1 + be^{-a(t+1)} - 1 - be^{-at}}{k} = \frac{be^{-at}\left(e^{-a} - 1\right)}{k} = \frac{be^{-at}\left(\frac{1}{e^a} - 1\right)}{k};$$

$$\frac{1}{y_{t+1}} - \frac{1}{y_t} = \frac{be^{-at}\left(1 - e^a\right)}{ke^a} = \frac{-be^{-a(t+1)}\left(e^a - 1\right)}{k} = \frac{-1 - be^{-a(t+1)} + 1}{k} \cdot \left(e^a - 1\right) = \left(-\frac{1}{y_{t+1}} + \frac{1}{k}\right) \cdot \left(e^a - 1\right)$$

.

В левой части уравнения оставим только $\frac{1}{y_{t+1}}$:

$$\frac{1}{y_{t+1}} = \frac{1}{y_t} + \left(-\frac{1}{y_{t+1}} + \frac{1}{k}\right) \cdot \left(e^a - 1\right);$$

$$\frac{1}{y_{t+1}} = \frac{1}{y_t} + \left(e^a - 1\right) \cdot \left(-\frac{1}{y_{t+1}}\right) + \left(e^a - 1\right) \cdot \left(\frac{1}{k}\right);$$

$$\frac{1}{y_{t+1}} - \left(e^a - 1\right) \cdot \left(-\frac{1}{y_{t+1}}\right) = \frac{1}{y_t} + \left(e^a - 1\right) \cdot \left(\frac{1}{k}\right);$$

$$\frac{1}{y_{t+1}} \cdot \left(1 + e^a - 1\right) = \frac{1}{y_t} + \frac{\left(e^a - 1\right)}{k};$$

$$\frac{1}{y_{t+1}}\cdot e^{a}=\frac{1}{y_t}+\frac{\left(e^{a}-1\right)}{k};$$

$$\frac{1}{y_{t+1}}=\frac{1}{e^{a}\cdot y_t}+\frac{\left(e^{a}-1\right)}{e^{a}\cdot k};$$

$$\underbrace{\frac{1}{y_{t+1}}}_{S}=\underbrace{\frac{1}{e^{a}}}_{\eta_1}\cdot\underbrace{\frac{1}{y_t}}_{\varphi(t)}+\underbrace{\frac{\left(1-e^{-a}\right)}{k}}_{\eta_2}\quad\Rightarrow\quad s=\eta_1\cdot\varphi(t)+\eta_2\,. \tag{2.3.9}$$

В результате (2.3.9) получилось линейное уравнение, в котором коэффициенты η_1, η_2 можно найти по МНК.

Оценивание исходных параметров *a, k, b* осуществляется следующим образом:

$$a=-\ln(\eta_1);\quad k=\frac{1-\eta_1}{\eta_2}; \tag{2.3.10}$$

$$\ln b=\frac{\sum_{t=1}^{m}\ln\left(\frac{k}{y_t}-1\right)}{m}+\frac{a\cdot(m+1)}{2}.$$

При использовании дополнительно к статистическим данным точечных суждений экспертов предполагается, что добавляется новые значения (объем выборки временного ряда увеличивается на число экспертных оценок). Параметры факторных моделей определяются выше рассмотренными методами.

При использовании МНК желательно, чтобы значения временного ряда имели нормальное распределение. В параграфе 2.2 показано, что данную гипотезу можно принять, поэтому выбор этого метода вполне обоснован.

Критерии адекватности

Как уже отмечалось, качество прогнозирования во многом определяется тем, адекватна ли используемая прогнозная модель с точностью до значений ее параметров. При этом очень важно, чтобы выполнялись предпосылки относительно отклонений

$$e_t=y_t-\varphi(t),\qquad t=1,\ldots,m. \tag{2.3.11}$$

Отклонения (2.3.11) должны быть независимыми случайными величинами, имеющими нормальное распределение с нулевым математическим ожиданием и независимой от номера t дисперсией или среднеквадратическим отклонением [2, 10, 39].

Оценкой дисперсии ошибки является величина

$$s^2 = \frac{1}{m-p}\sum_{t=1}^{m}(\varphi(t)-y_t)^2, \qquad (2.3.12)$$

где p – число параметров у прогнозной модели.

При выполнении предположений по отклонениям (2.3.11) можно пользоваться t-критерием Стьюдента при проверки значимости значений параметров прогнозной модели и F-критерием Фишера для проверки ее адекватности.

Дополнительно рекомендуется находить коэффициент детерминации R^2, который также является мерой «качества» прогнозной модели (чем ближе он к 1, тем лучше). Заметим, что F-критерий Фишера и коэффициент детерминации R^2 связаны функциональной зависимостью.

Прогнозная модель считается адекватной, если расчетное значение F-критерия (F_p) больше критического – $F\kappa p(\nu_1, \nu_2, q)$, где ν_1, ν_2 – степени свободы, q – уровень значимости. Критическое значение находится по таблицам F-распределения.

При проверке независимости отклонений e_i рекомендуется d-критерий Дарбина-Уотсона [76, 86], который вычисляется следующим образом

$$d = \frac{\sum_{i=2}^{m}(e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^{m} e_i^{\,2}}. \qquad (2.3.13)$$

Величина (2.3.13) сравнивается с табличными значениями: d_1 и d_2. Если значение d больше двух, то его предварительно нужно изменить

$$d' = 4 - d. \qquad (2.3.14)$$

Далее:

1) если d (или d') находится в интервале от нуля до d_1, то значения e_i считаются автокоррелированными;

2) если значение d-критерия (2.3.14) попадает в интервал от d_2 до 2, то автокорреляция отсутствует;

3) если $d_1 < d < d_2$- однозначного вывода об отсутствии или наличии автокорреляции сделать нельзя и необходимо использовать другой критерий, например, коэффициент автокорреляции первого порядка

$$r_1 = \frac{\sum_{t=2}^{m} e_t \cdot e_{t-1}}{\sum_{t=1}^{m} e_t^{\,2}}. \qquad (2.3.15)$$

Если $|r_1|$ (2.3.15) окажется меньше табличного, то гипотеза о наличии автокорреляции отвергается.

Адекватность прогнозной модели по -критерию F Фишера не отвечает на вопрос: как хорошо полученная прогнозная модель описывает статистическую информацию. Поэтому дополнительно рекомендуется проверить случайность колебаний отклонений (2.3.11).

Для решения этой задачи предложены различные критерии, например: критерий «восходящих» и «нисходящих» серий и критерий пиков (поворотных точек) [76, 86].

Критерий «восходящих» и «нисходящих» серий. На первом этапе определяют ряд из плюсов и минусов когда на i–ом месте ставится знак плюс «+», если $e_{i+1} - e_i > 0$ и знак минус «–», если $e_{i+1} - e_i < 0$. Если остатки равны, то, учитывается только одно значение.

На втором этапе определяется общее число серий $v(m)$ и число элементов в самой длинной серии $K_{\max}(m)$.

Для того, чтобы отклонения (2.3.11) были случайными, число элементов $K_{\max}(m)$ не должно быть достаточно большой, а общее число серий не должно быть достаточно маленьким. Для этого проверяются следующие условия (при уровне значимости 0,05):

$$\begin{cases} K_{\max}(m) \le K_0(m), \\ v(m) > [\frac{1}{3}(2m-1) - 1{,}96\sqrt{\frac{16m-29}{90}}] = C(m). \end{cases} \quad (2.3.16)$$

где [.]=, $C(m)$ операция округления до ближайшего целого в меньшую сторону, а $K_0(m) = 5$ при $m \le 26$.

Если хоть одно из условий (2.3.16) нарушается, то гипотеза о случайном характере отклонений (2.3.11) отвергается.

Критерий пиков. Проверка случайности остатков e_t может проводиться с помощью критерия пиков (поворотных точек) [86]. В этом случае каждое значение ряда e_t сравнивается с двумя, рядом стоящими. Точка считается поворотной, если в ней значение остатка или больше и последующего и пред ыдущего значения, или меньше и последующего и предыдущего значения.

Для того, чтобы отклонения (2.3.11) были случайными, должно выполняться строгое неравенство

$$p > [2(m-2)/3 - 2\sqrt{(16m-29)/90}], \quad (2.3.17)$$

где p – число поворотных точек, [.] – целая часть результата вычислений.

2.4. Алгоритмическое обеспечение комплексного прогнозирование базовых показателей

Для повышения точности прогнозирования базовых показателей (грузооборота и объема погрузки грузов), в работе предложен подход, названный комплексным прогнозированием. Приведем его описание.

Введем следующие обозначения для прогнозных частных значений:

z_1 – прогнозное частное значение базового показателя, полученное по многофакторной модели первого порядка;

z_2 – прогнозное частное значение базового показателя, полученное по многофакторной модели второго порядка;

z_3 – прогнозное частное значение базового показателя, полученное по факторной модели;

z_4 – прогнозное частное значение базового показателя, полученное группой квалифицированных экспертов.

Предполагается, что прогнозные частные значения базовых показателей

$$Z=(z_1, z_2, z_3, z_4), \quad (2.4.1)$$

имеют различную относительную важность. Эта важность характеризуется весовыми коэффициентами, полученными по экспертной информации.

Различная относительная важность частных прогнозных значений (2.4.1) позволяет повысить точность прогноза за счет изменения весовых коэффициентов.

В данной работе при определении весовых коэффициентов предложено использовать метод простого ранжирования [57].

Предполагается, что экспертиза проводится группой из L экспертов, которые являются квалифицированными специалистами в предметной области. Эксперты расставляют частные значения с учетом их важности (полезности). При этом наименее важному, с точки зрения эксперта, показателю присваивается ранг равный 1, а наиболее важному – m, где m – число частных значений (в нашем случае m=4).

Ранги, присвоенные таким образом частным значениям (2.4.1), представляют собой ряд натуральных чисел, сумма рангов по каждому эксперту равна

$$S_r=m\cdot(m+1)/2. \quad (2.4.6)$$

Если эксперты не могут указать порядок некоторых частных значений и приписывают им одинаковые ранги, то эти ранги необходимо преобразовать таким образом, чтобы они имели сумму чисел натурального ряда (2.4.6) (в этом случае ранги являются дробными числами).

Весовые коэффициенты (w_j) вычисляются как нормированные и усредненные по всем экспертам значения рангов

$$w_j=\sum_{l=1}^{L} r_{jl} / \sum_{j=1}^{m}\sum_{l=1}^{L} r_{jl}\,,\ \sum_{j=1}^{m} w_j=1, \quad (2.4.7)$$

где r_{jl} – ранг, поставленный j-у частному значению (z_j) l-м экспертом.

Весовые коэффициенты (2.4.7) можно использовать в линейной свертке для вычисления комплексного показателя

$$z_c = \sum_{j=1}^{m} w_j \cdot z_j \ . \qquad (2.4.8)$$

Значение (2.4.8) является результатом комплексного прогнозирования и рекомендуется в качестве прогнозного значения.

Надежность экспертизы (однородность экспертов по их квалификации) можно оценивать коэффициентом конкордации [57]

$$V = \frac{12S}{L^2(m^3 - m)}, \ 0 < V < 1, \qquad (2.4.9)$$

где

$$S = \sum_{j=1}^{m} (\sum_{l=1}^{L} r_{jl} - \frac{1}{2} L(m+1))^2 \ . \qquad (2.4.10)$$

При $V \to 1$ наблюдается наибольшая согласованность мнений экспертов, а при $V \to 0$ – наименьшая.

Более обосновано для проверки гипотезы об однородности экспертов рекомендуется использовать статистику (2.4.10). Если окажется, что $S > S_{кр}(L, m, q)$, то можно принять гипотезу об однородности экспертов при уровне значимости q. Критические значения $S_{кр}(L, m, q)$ имеются в литературе по математической статистике.

В таблице 2.2 приведены наиболее употребительные на практике значения, которые будут использоваться в главе 3 диссертации.

Таблица 2.2

Критические значения для S-статистики (2.4.10)

L	m=4	m=5	m=6
3	36,4	64,4	103,9
4	49,5	88,4	143,3
5	62,6	112,3	182,4
6	75,7	136,1	221,4

При m>7 используется не S-статистика (2.4.10), а H-статистика

$$H = L\ (m-1)\cdot V\ , \qquad (2.4.11)$$

которая имеет приближенно распределение χ^2 с (L-1) степенями свободы. В формуле (2.4.11) V – коэффициент конкордации (2.4.9). Если окажется, что $H > \chi^2_{кр}(L\text{-}1, q)$, то можно принять гипотезу об однородности экспертов при уровне значимости q. Критические значения для распределения χ^2 имеются в любой литературе по математической статистике.

В нашем случае будет использоваться критерий (2.4.10), так как число частных значений m=4.

Возможность проверки однородности экспертов является положительной стороной рассмотренного метода простого ранжирования (2.4.7), что и определило его выбор в диссертационной работе.

Наличие различной экспертной информации позволяет говорить о возможности создания различных сценариев развития перевозочного процесса с точки зрения комплексного прогнозирования базовых показателей. Особенности сценарного анализа рассмотрены в главе 1.

Отметим лишь, что если имеется возможность рассматривать ситуации, в которых события развиваются по нескольким принципиально различным сценариям, то можно подобное прогнозирование назвать методом сценариев, так как в этом случае выделяется набор вариантов развития сценариев, которые охватывают возможные альтернативы развития системы.

В нашем случае отличие сценариев развития между собой связано с различием экспертной информации по различным направлениям, типам факторных моделей, типом используемой информации:

1) экспертная информация, влияющие на параметры факторных моделей;
2) экспертная информация, влияющая на частное значение (z_4);
3) экспертная информация, влияющая на значения весовых коэффициентов (2.4.7);

4) типы факторных моделей (2.3.1-2.3.4), участвующих в многофакторных моделях первого и второго порядка;
5) тип информации, влияющий на параметры факторных моделей, участвующих в многофакторных моделях первого и второго порядка.

При использовании сценарного подхода, задача комплексного прогнозирования базовых показателей (2.4.8) с учетом (2.4.1) имеет вид:

$$z_{c,T,p}(t+k)=w_{1,p}\cdot z_{1,T,p}(t+k)+ w_{2,p}\cdot z_{2,T,p}(t+k)+ w_{3,p}\cdot z_{3,T,p}(t+k)+ w_{4,p}\cdot z_{4,p}(t+k). \quad (2.4.18)$$

В модели (2.4.18):

t – номер последнего года во временном ряде. Например, если временной ряд собран за период от 2000 года до 2014 года, то t =15;

k – номер прогнозного года, k=1, 2,… Например, если прогнозный год 2015, то k=1;

T – признак, характеризующий вариацию типов факторных моделей, участвующих в вычислении базовых показателей;

p – признак, характеризующий вариации в экспертной информации;

$z_{c,}T_{,p}(t+k)$ – значение комплексного показателя для одного из базовых в момент времени $(t+k)$ (2.4.18);

$z_{1,T,p}(t+k)$ – значение одного из базовых показателей в момент времени $(t+k)$, полученное по многофакторной модели первого порядка – $f_{1,T,p}(\cdot)$;

$$z_{1,T,p}(t+k)=f_{1,T,p}(A_t, X(t+k)), \quad (2.4.19)$$

где A_t – вектор параметров многофакторной модели первого порядка, пол ученный по исходным данным до времени t; $X(t+k)$ – значения существенных факторов на момент времени $(t+k)$;

$z_{2,T,p}(t+k)$ – значение одного из базовых показателей в момент времени $(t+k)$, полученное по многофакторной модели второго порядка – $f_{2,T,p}(\cdot)$;

$$z_{2,T,p}(t+k)=f2_{,T,p}(B_t, X(t+k)), \quad (2.4.20)$$

где B_t – вектор параметров многофакторной модели второго порядка, пол ученный по исходным данным до времени t; $X(t+k)$ – значения существенных факторов на момент времени $(t+k)$;

$z_{3,T,p}(t+k)$ – значение одного из базовых показателей в момент времени $(t+k)$, полученное по факторной модели – $f3_{,T,p}(\cdot)$;

$$z_{3,T,p}(t+k)=f_{3,T,p}(C_t, (t+k)), \qquad (2.4.21)$$

где C_t – вектор параметров факторной модели, полученный по исходным данным до времени t;

$z4_{,p}(t+k)$ – экспертное суждение на момент времени $(t+k)$, полученное группой экспертов;

$w_{1,p}$, $w_{2,p}$, $w3_{,p}$, $w_{4,p}$ – весовые коэффициенты (2.4.7).

Выбор наилучшего сценария предлагается определять экспертно.

Использование сценарного подхода повышает точность комплексного прогнозирования базовых показателей за счет варьирования экспертной информацией, типами информации и типами факторных моделей. Выбор на илучшего сценария не является предметом диссертационного исследования.

Методика комплексного прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса, использующего сценарный подход

Созданное алгоритмическое обеспечение прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса, использующего сценарный подход, позволяет создать методику, содержащую следующие этапы:

1. Подготовка исходных данных, содержащих три вида информации: а) статистическую по показателям и влияющим факторам в виде временных рядов, б) экспертную в виде точечных оценок и рангов, в) описание сценариев развития перевозочного процесса;
2. Расчет парных коэффициентов корреляции между влияющими факторами (2.1.1) и на основе условия (2.1.2) выбор существенных факторов;

3. Создание многофакторных моделей первого (2.1.3) и второго порядка (2.1.6) для базовых показателей, зависящих от существенных факторов;
4. Используя *t*-статистику (2.1.5), создание многофакторных моделей первого и второго порядка для базовых показателей, зависящих от значимых факторов, проверка адекватности полученных многофа кторных моделей и проведение дополнительного статистического анализа;
5. Используя временные ряды по базовым показателям и значимым факторам, экспертные точечные суждения и виды аппроксимирующих функций (2.3.1-2.3.4), создание адекватных факторных прогнозных моделей;
6. Вычисление весовых коэффициентов (2.4.7) по экспертной информации в соответствии со сценариями развития перевозочного пр оцесса;
7. Вычисление частных (2.4.19-2.4.21) и комплексных (2.4.18) значений базовых показателей в соответствии со сценариями развития перевозочного процесса;
8. Экспертный выбор наилучшего сценария с последующим анализом полученных результатов.

Данная методика будет апробирована в главе 3.

2.5. Описание программного обеспечения комплексного прогнозирования базовых показателей

Созданное программное обеспечение основано на алгоритмическом и методическом обеспечении, описанном выше.

Программных продуктов для статистических исследований, включая прогнозирование, достаточно много. Так, например, для прогнозирования временных рядов (авторегрессионные модели, множественная регрессия,

модели тренда, модель Бокса–Дженкинса ARIMA) широко используются процедуры, реализованные в универсальных статистических пакетах *SYSTAT* и *SPSS*. Одним из мировых лидеров на рынке статистического программного обеспечения является интегрированная система *Statistica* для *Windows* [14].

При прогнозировании выбросов загрязняющих веществ [76] для создания оболочки выбрана система *MATLAB* фирмы *MathWorks*. Это связано с тем, что данная система имеет широкий спектр функций для математических вычислений. Это сочетается с мощными средствами графической визуализации и даже анимационной графики [3, 17].

Важными достоинствами системы являются ее открытость и расширяемость. Большинство команд и функций системы реализованы в виде текстовых m-файлов и файлов на языке *C*, причем все файлы доступны для модификации.

При интервальном прогнозировании динамических показателей [72, 73] обосновано выбран свободно распространяемый интерпретирующий язык программирования «*R*».

Можно также отметить систему *Python*, которая содержит все необходимые методы и процедуры, необходимые при прогнозировании показателей грузовых перевозок [34].

При разработке программного обеспечения «Комплексное прогнозирование базовых показателей» важным фактором является его доступность. Поэтому работа с программным комплексом происходит в среде *Windows*, база данных спроектирована с использованием *Interbase Server*, обработка производится с помощью надстроек *Microsoft Excel*.

Надстройка в *Excel* – это набор специальных утилит, которые становятся доступными после выполнения определенных действий, направленных на подключение надстройки. Надстройка «Анализ данных», позволяет выполнить анализ, указав входные данные и выбрав параметры. Расчет выполняется с использованием подходящей статистической или инженерной макрофункции, а результат помещается в выходной диапазон.

Утилита «Регрессия» надстройки «Пакет анализа», которая использовалась в данной работе, позволяет получить конкретные сведения о том, какую форму и характер имеет зависимость между исследуемыми переменными. Используя описанную надстройку «Пакет анализа», были отобраны практически значимые факторы для прогнозирования грузооборота и погрузки грузов, а также созданы многофакторные модели первого и второго порядка для оценивания грузооборота и объема погрузки грузов.

Начальное окно программы приведено на рисунке 2.2. При этом можно выбирать тип многофакторной модели (первого или второго порядка) и тип базового показателя (грузооборот или погрузка грузов). Дополнительно выбирается значение доверительной вероятности.

При создании факторных моделей используется окно, представленное на рисунке 2.3. При его настройке выбирается наименование фактора или базового показателя (используются сокращенные названия); тип факторной модели; тип используемой информации: модель временного ряда – однородная информация или смешанная модель – разнородная информация; если используется разнородная информация, то необходимо указать точечное экспертное значение на год прогноза и указать год прогноза. Дополнительно выбирается значение доверительной вероятности.

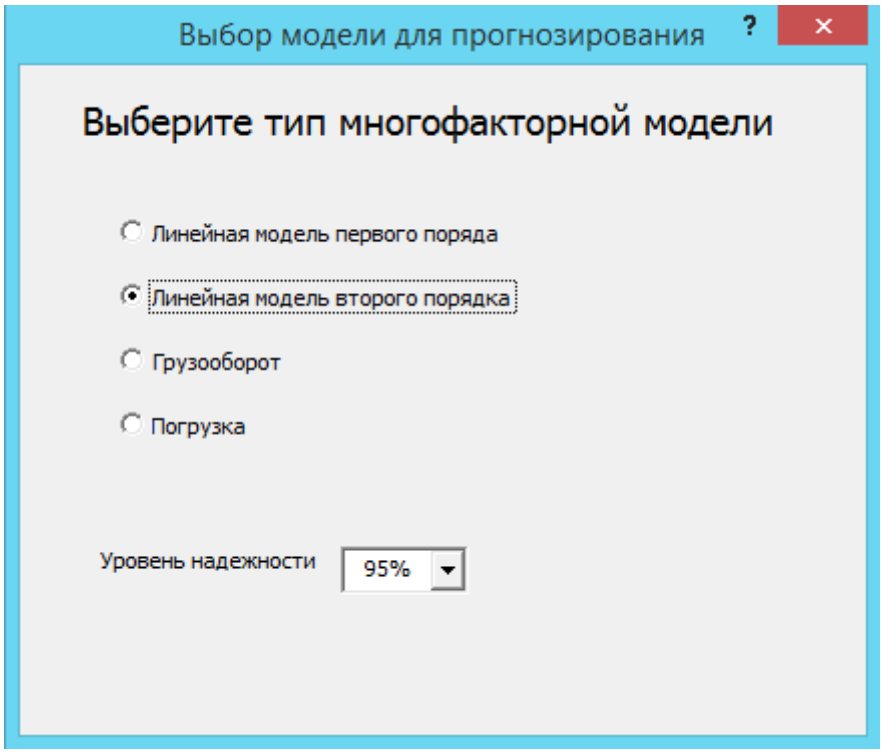


Рис. 2.2. Начальное окно программы

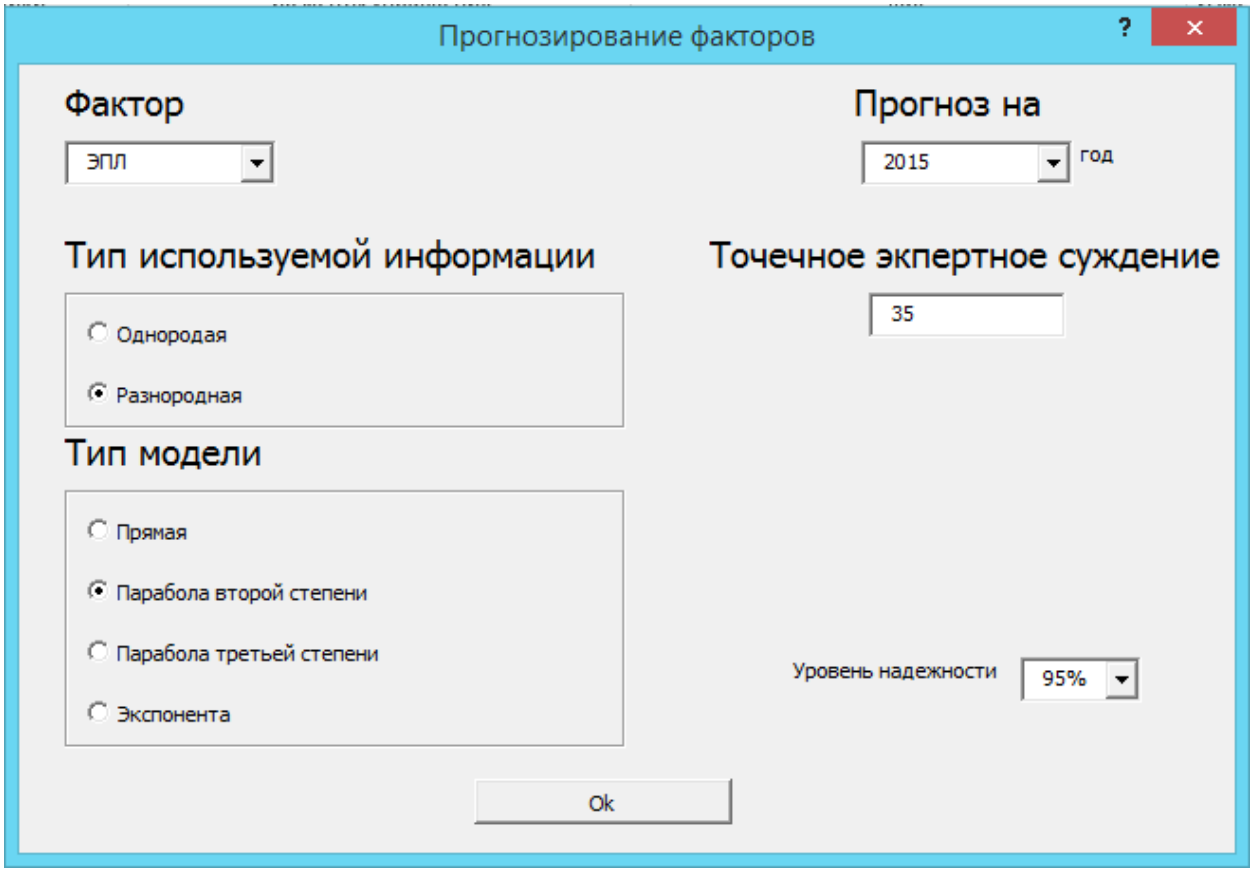


Рис. 2.3. Окно для прогнозирования факторов

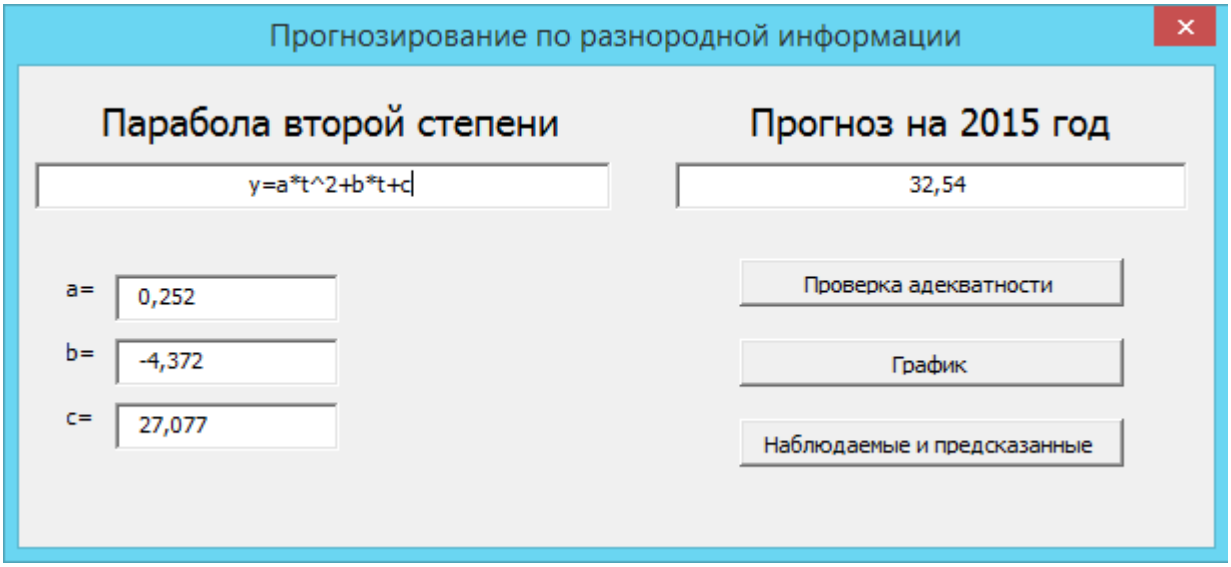


Рис. 2.4. Окно для результатов прогнозирования факторов, разнородная информация

Окно для результатов прогнозирования приведено на рисунке 2.4 (разнородная информация) и на рисунке 2.5 (однородная информация): выводя тся значения параметров и прогнозное значение. Дополнительно можно посмотреть график и проверить адекватность полученной прогнозной модели.

Окно запуска модуля для прогнозирования по многофакторной модели приведено на рисунке 2.6. При этом имеется возможность выбирать тип многофакторной модели (первого или второго порядка); тип базового показателя (грузооборот или погрузка грузов); типы факторных моделей (имя фактора, тип модели, тип информации: модель временного ряда, смешанная модель); год прогноза.

После нажатия кнопки «Рассчитать прогноз» в «окошке» появится пр огнозное значение. Проведя необходимые расчеты можно кнопкой «Выполнить комплексное прогнозирование» провести итоговое действие, включая создание различных сценариев.

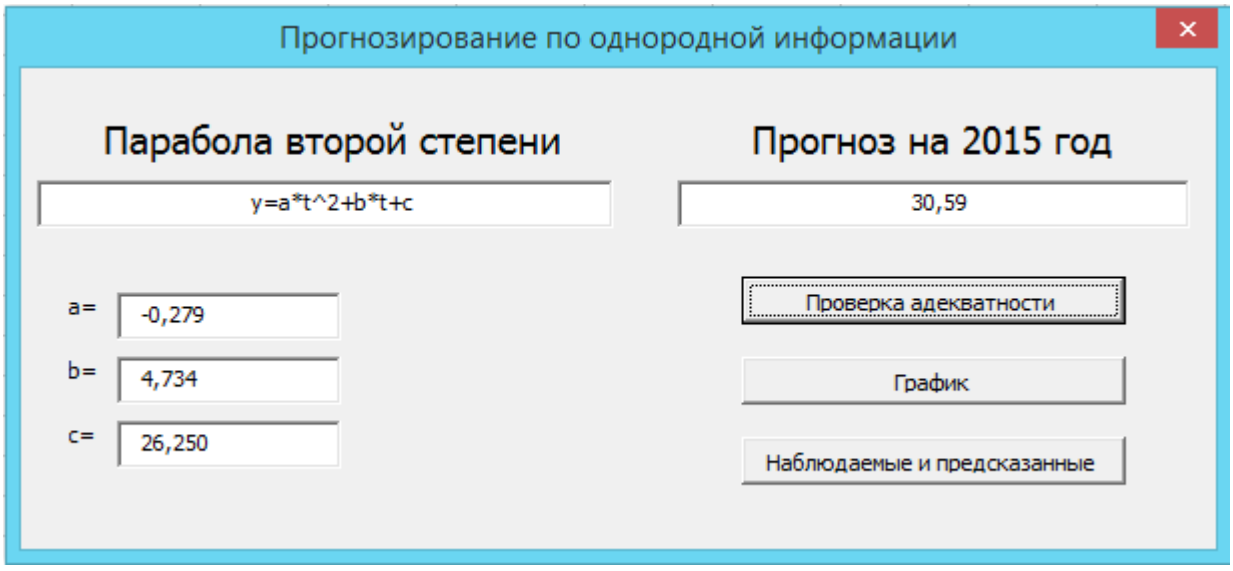


Рис.2.5. Окно для результатов прогнозирования факторов, однородная информация

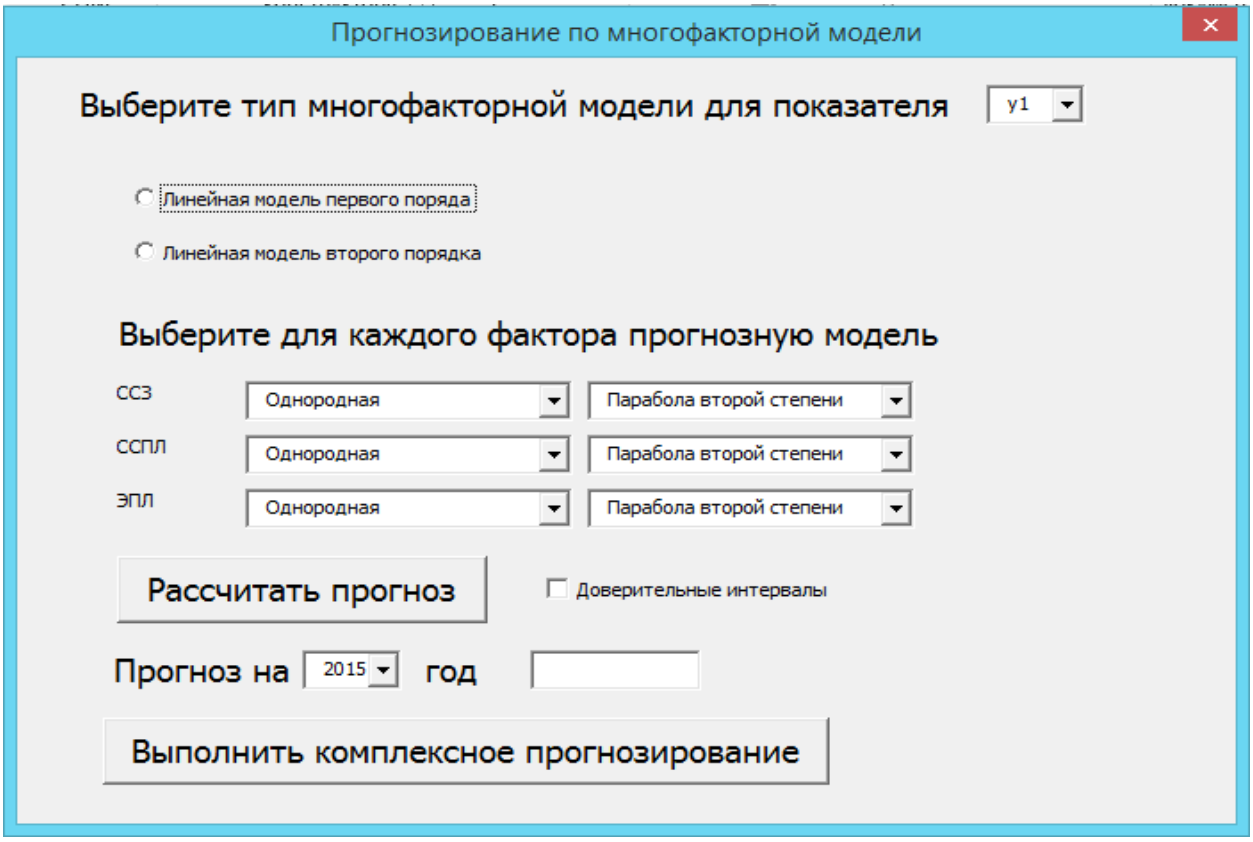


Рис. 2.6 . Окно для прогнозирования по многофакторной модели

Результаты расчетов с использованием созданного программного обеспечения «Комплексное прогнозирование базовых показателей» приведены в главе 3, посвященной апробации созданного алгоритмического, методического и программного обеспечения.

2.6. Выводы по главе 2

1. С позиций системного анализа создана постановка и проведена фо рмализация процедуры комплексного прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса, направленной на повышение качества принятия управленческих решений. Предлагается использовать четыре вида частных значений, оценивающих различные компоненты перевозочного процесса железнодорожным транспортом:

а) значение, полученное по многофакторной модели первого порядка;

б) значение, полученное по многофакторной модели второго порядка;

в) значение, полученное по временному ряду;

г) точечное экспертное суждение группы квалифицированных специалистов.

Многофакторные модели включают различные значимые факторы, системно характеризующие перевозочный процесс, а значения по временному ряду и точечные суждения экспертов также системно характеризуют перевозочный процесс через экспертную информацию.

2. Разработано алгоритмическое и методическое обеспечение ко мплексного прогнозирования базовых показателей, основанного на различных видах экспертной информации, типах факторных моделей, типах используемой информации, что в свою очередь позволяет создавать различные сценарии развития перевозочного процесса железнодорожным транспортом.

3. Предложено алгоритмическое обеспечение по созданию многофакторных моделей для базовых показателей, использующая отбор существенных факторов с использованием коэффициентов парной корреляции и отбор значимых факторов с использованием *t*-статистики. Далее создаются многофакторные модели первого и второго порядка.

4. Обоснованы четыре функции для создания факторных прогнозных моделей: полиномиальная, экспоненциальная, в виде логарифмической параболы, логистическая. Для определения параметров логистической функции рассмотрены метод трех точек и метод Родса, который рекомендован к пр именению.

5. В качестве комплексного базового показателя выбрана линейная свертка с весовыми коэффициентами относительно частных прогнозных зн ачений. Различная относительная важность частных прогнозных значений позволяет повысить точность прогноза за счет возможности экспертно изменять весовые коэффициенты. Весовые коэффициенты определяются на основе рангов, полученных группой экспертов.

6. На основе разработанного математического и алгоритмического обеспечения, создано программное обеспечение «Комплексное прогнозирование базовых показателей» в среде *Windows*. База данных спроектирована с использованием Interbase *Server*, обработка производится с помощью надстроек Microsoft *Excel*. Используя утилиту «Регрессия» надстройки «Пакет анализа», были отобраны практически значимые факторы для прогнозирования грузооборота и погрузки грузов, а также созданы многофакторные модели первого и второго порядка для оценивания грузооборота и объема погрузки грузов.

3. АПРОБАЦИЯ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БАЗОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА

Данная глава посвящена проверке созданного в диссертационной работе методического и алгоритмического обеспечения комплексного прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса железнодорожным транспортом, использующего сценарный подход. Результаты апробации приведены в работах автора [24 - 31].

Исходными являются статистические данные, полученные на УБЖД, и экспертные оценки. При обработке исходных данных используется пр ограммный комплекс, созданный при участии автора и описанный в параграфе 2.5.

3.1. Исходные статистические и экспертные данные для апробации алгоритмического обеспечения комплексного прогнозирования базовых показателей

Исходные статистические данные

Статистические данные (табл. 3.1) для апробации алгоритмического обеспечения комплексного прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса получены из Центра статистического учета и информационных технологий УБЖД и Государственной статистики Монголии.

Статистические данные взяты с 2000 по 2015 год, но 2015 год испол ьзуется для проверки результатов прогнозирования.

Дадим пояснения к приведенным в таблице 3.1 значениям показателей:

y_1 – грузооборот, млн.ткм;

y_2 – погрузка, тыс.т;

x_1 – статическая нагрузка, т;

x_2 – оборот вагона, сут.;

x_3 – простой вагонов под одной грузовой операцией, вагоно-часов;

x_4 – средняя заработная плата, млн.тугр;

x_5 – себестоимость, тыс.тугр/млн.т-км;

x_6 – средний вес поезда, т брутто;

x_7 – техническая скорость, км/час;

x_8 – участковая скорость, км/час;

x_9 – среднесуточный пробег локомотива, км/сут;

x_{10} – эксплуатационный парк локомотивов, лок/сут.

Таблица 3.1

Значения показателей УБЖД

Год	y_1	y_2	x_1	x_2	x_3	x_4
2000	4292.75	6783.37	55.98	5.50	30.28	100.656
2001	5287.27	7131.18	56.57	6.89	27.61	117.315
2002	6452.06	7511.82	55.66	5.57	22.49	141.424
2003	7254.76	7593.05	54.97	5.13	23.30	177.571
2004	8856.90	7986.42	53.13	6.07	24.85	221.709
2005	9929.09	9000.01	53.40	3.10	17.32	254.540
2006	9218.50	9057.08	52.55	3.04	18.09	278.291
2007	8360.65	9217.61	51.10	4.26	22.54	306.674
2008	8261.37	10455.79	51.06	3.83	19.92	404.568
2009	7852.10	10318.48	56.46	3.87	16.63	447.306
2010	10286.70	12783.98	55.92	5.03	18.38	555.921
2011	11418.75	14371.77	54.79	4.43	17.55	671.525
2012	12142.74	16221.75	55.54	3.59	16.60	875.657
2013	12076.53	16606.09	56.25	3.26	16.73	971.519
2014	12473.69	16538.38	58.16	3.24	13.83	1092.980
2015	11462.6	14591.0				993.626

Год	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
2000	8.84	2285.60	41.49	34.70	496.10	26
2001	9.99	2328.27	41.34	33.56	513.19	31
2002	11.41	2216.89	42.12	33.55	448.78	41
2003	12.87	2279.76	43.96	35.05	464.64	43
2004	14.59	2383.70	44.26	34.64	482.18	51
2005	16.23	2793.21	46.51	37.24	508.65	53
2006	16.82	2874.08	46.17	36.50	555.94	45
2007	17.09	2537.96	47.05	37.80	557.30	40
2008	23.01	2401.03	46.29	36.65	499.31	44
2009	25.42	2493.92	46.14	37.15	571.48	36
2010	25.92	2761.30	47.13	35.90	553.34	43
2011	26.95	2920.78	46.43	36.97	502.93	46
2012	29.74	3091.02	47.15	39.28	536.44	42
2013	3118.81	3219.87	49.94	42.24	568.61	39
2014	3251.29	3310.03	52.15	44.34	605.59	36
2015					570.0	34

Первые два показателя (y_1, y_2) являются основными, именно эти зн ачения рекомендованы к комплексному прогнозированию. Остальные показ атели (x_1 - x_{10}) являются влияющими факторами.

Исходные данные в виде экспертных оценок

Особенностью и научной новизной диссертационной работы является использование при комплексном прогнозировании базовых показателей перевозочного процесса сценарного подхода, описанного в параграфе 2.4. Возможность создания различных сценариев развития перевозочного процесса с точки зрения комплексного прогнозирования базовых показателей основано на наличии различной экспертной информации, в виде точечных суждений группы квалифицированных экспертов.

В таблице 3.2 приведены два варианта экспертных оценок по базовым показателям и значимым факторам, оставленным в регрессионных моделях первого и второго порядка.

Таблица 3.2

Значения экспертных оценок по базовым показателям
и существенным факторам

B	y_1	y_2	x_4	x_9	*x10*
1	12500	16500	1200,0	610,0	35,0
2	11600	14900	1000,0	580,0	35,0

Первый вариант не предполагает существенного уменьшения базовых показателей и зарплаты, а второй это предполагает и является более реалистическим с учетом экономической ситуации. По эксплуатационному парку локомотивов обе группы экспертов выбрали одинаковые значения.

В таблицах 3.3 и 3.4 приведены значения рангов по важности частных значений базовых показателей (2.4.1). В первом случае (табл. 3.3) участвовало 4 эксперта, а во втором (табл. 3.4) – 6. С учетом (2.4.6), сумма рангов по столбцам равна 10.

Таблица 3.3

Значения рангов, число экспертов 4

Z	Э1	Э2	Э3	Э4
z_1	3	2,5	3,5	4
z_2	2	2,5	1,5	2
z_3	1	1	1,5	1
z_4	4	4	3,5	3
Сумма	10	10	10	10

Таблица 3.4

Значения рангов, число экспертов 6

Z	Э1	Э2	Э3	Э4	Э5	Э6
z_1	2	1,5	1,5	2	1	1
z_2	4	4	3	3,5	4	3,5
z_3	1	1,5	1,5	1	2	2
z_4	3	3	4	3,5	3	3,5
Сумма	10	10	10	10	10	10

В таблицах 3.3, 3.4:

z_1 – прогнозное частное значение базового показателя, полученное по многофакторной модели первого порядка;

z_2 – прогнозное частное значение базового показателя, полученное по многофакторной модели второго порядка;

z_3 – прогнозное частное значение базового показателя, полученное по факторной модели;

z_4 – прогнозное частное значение базового показателя, полученное группой квалифицированных экспертов.

В таблицах 3.5 и 3.6 приведены четыре сценария (C) развития перевозочного процесса на УБЖД, зависящие и от статистических исходных данных и от информации экспертов:

таблица 3.5 для грузооборота; таблица 3.6 для погрузки грузов.

Таблица 3.5

Сценарии перевозочного процесса для грузооборота

C	z_1	z_2	z_3	z_4	W
0	СД	СД	СД	12500	Табл. 3.3
1	СД+1	СД+1	СД+1	12500	Табл. 3.3
2	СД+2	СД+2	СД+2	11600	Табл. 3.3
3	СД+2	СД+2	СД+2	11600	Табл. 3.4

Таблица 3.6

Сценарии перевозочного процесса для погрузки грузов

C	z_1	z_2	z_3	z_4	W
0	СД	СД	СД	16500	Табл. 3.3
1	СД+1	СД+1	СД+1	16500	Табл. 3.3
2	СД+2	СД+2	СД+2	14900	Табл. 3.3
3	СД+2	СД+2	СД+2	14900	Табл. 3.4

В первом сценарии (0) при вычислении частных значений базовых показателей (z_1, z_2, z_3) используются: а) только статистические данные (СД), б) для частного показателя z_4 принято значение 12500 для грузооборота или 16500 для погрузки грузов, в) при определении весовых коэффициентов используются ранги по таблице 3.3.

Во втором сценарии (1) при вычислении частных значений базовых показателей (z_1, z_2, z_3): а) помимо статистических данных используются экспертные оценки по варианту 1 (табл. 3.2), б) для частного показателя z_4 принято значение 12500 для грузооборота или 16500 для погрузки грузов, в) при определении весовых коэффициентов используются ранги по таблице 3.3.

В третьем сценарии (2) при вычислении частных значений базовых показателей (z_1, z_2, z_3): а) помимо статистических данных используются экспертные оценки по варианту 2 (табл. 3.2), б) для частного показателя z_4 принято значение 11600 для грузооборота или 14900 для погрузки грузов, в) при определении весовых коэффициентов используются ранги по таблице 3.3.

По четвертому сценарию (3) при вычислении частных значений базовых показателей (z_1, z_2, z_3): а) помимо статистических данных используются экспертные оценки по варианту 2 (табл. 3.2), б) для частного показателя z_4 принято значение 11600 для грузооборота или 14900 для погрузки грузов, в) при определении весовых коэффициентов используются ранги по таблице 3.4.

Статистические данные, приведенные в таблице 3.1, экспертная информация, приведенная в таблицах 3.2, 3.3, 3.4, а также информация по

сценариям развития перевозочного процесса, приведенная в таблицах 3.5 и 3.6, реализуют первый этап предложенной в параграфе 2.4 методики комплексного прогнозирования.

3.2. Создание и апробация многофакторных регрессионных моделей

Алгоритмическое обеспечение и методика создания многофакторных моделей рассмотрены в параграфах 2.1 и 2.2. Этот параграф описывает второй, третий и четвертый этапы методики комплексного прогнозирования, предложенной в параграфе 2.4.

Найдем выборочные значения парного коэффициента корреляции (2.1.1). Их значения приведены в таблице 3.7.

Используя условие (2.1.2), оставим существенные факторы (табл. 3.8). Этими факторами являются:

$$(x_1, x_2, x_4, x_9, x_{10}). \qquad (3.2.1)$$

Для каждого фактора (3.2.1) выполняется условие (2.1.4).

Таблица 3.7

Таблица коэффициентов парной корреляции

r_{x_i,x_j}	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
x_1	1	0.15	-0.12	0.436	0.262	0.273	0.096	0.273	0.251	-0.54
x_2	0.15	1	0.822	-0.58	-0.65	-0.72	-0.78	-0.74	-0.59	-0.3
x_3	-0.12	0.822	1	-0.77	-0.85	-0.8	-0.85	-0.73	-0.61	-0.41
x_4	0.436	-0.58	-0.77	1	0.94	0.91	0.87	0.9	0.69	-0.0
x_5	0.262	-0.65	-0.85	0.94	1	0.84	0.88	0.83	0.685	0.13
x_6	0.273	-0.72	-0.8	0.91	0.84	1	0.87	0.88	0.72	0.16
x_7	0.096	-0.78	-0.85	0.87	0.88	0.87	1	0.93	0.78	0.23
x_8	0.273	-0.74	-0.73	0.9	0.83	0.88	0.93	1	0.767	-0.0
x_9	0.251	-0.59	-0.61	0.69	0.685	0.72	0.78	0.767	1	-0.2
x_{10}	-0.54	-0.3	-0.41	-0.0	0.13	0.16	0.23	-0.0	-0.2	1

Таблица 3.8

Таблица коэффициентов корреляции для существенных факторов

r_{x_i,x_j}	x_1	x_2	x_4	x_9	x_{10}
x_1	1	0.152	0.436	0.251	-0.541
x_2	0.152	1	-0.582	-0.592	-0.298
x_4	0.436	-0.582	1	0.687	-0.002
x_9	0.251	-0.592	0.687	1	-0.219
x_{10}	-0.541	-0.298	-0.002	-0.219	1

Определение многофакторных моделей первого порядка

Используя метод наименьших квадратов (2.2.1), найдем многофакторные модели первого порядка для грузооборота и погрузки грузов:

$$y_1 = 6833.7 + 28.4 \cdot x_1 + 11.9 \cdot x_2 + 0.006 \cdot x_4 + 7.9 \cdot x_9 + 180.1 \cdot x_{10}; \quad (3.2.2)$$

$$y_2 = 11019.2 - 69.1 \cdot x_1 + 54.9 \cdot x_2 + 0.012 \cdot x_4 - 4.8 \cdot x_9 + 16 \cdot x_{10}. \quad (3.2.3)$$

Для модели (3.2.2) *F*-статистика равна 102.7, а для модели (3.2.3) – 86.4. Далее, используя значения *t*-статистики (2.1.5), был получен окончательный вид моделей:

для грузооборота многофакторная модель первого порядка имеет вид

$$y_1 = -743.98 + 6.7227 \cdot x_4 + 163.6673 \cdot x_{10}; \quad (3.2.4)$$

для погрузки грузов многофакторная модель первого порядка имеет вид

$$y_2 = 7932.577 + 7.1232 \cdot x_4 - 4.0665 \cdot x_9. \quad (3.2.5)$$

Отметим, что при создании моделей (3.2.2) и (3.2.3) заработная плата измеряется в тысячах тугриков, а при создании моделей (3.2.4) и (3.2.5) она измеряется в миллионах тугриков. Данная единица будет использоваться и в дальнейшем.

Для модели (3.2.4) *F*-статистика равна 226.6; для модели (3.2.5) – 252.4. По сравнению с предыдущими значениями обе *F*-статистики увеличились, что подтверждают хорошую значимость полученных прогнозных моделей.

В результате проведенного статистического анализа для грузооборота практически значимыми оказались факторы x_4 (средняя зарплата) и x_{10} (эксплуатационный парк локомотивов), а для погрузки грузов – x_4 (средняя заработная плата) и x_9 (среднесуточный пробег локомотива).

В таблице 3.9 приведены относительные отклонения в процентах (3.2.6) по каждому году для расчетных по моделям и наблюдаемым значениям основных показателей y_1 и y_2,

$$O.O.y = \frac{|y_{nabl} - y_{rasch}|}{y_{nbl}} \cdot 100. \qquad (3.2.6)$$

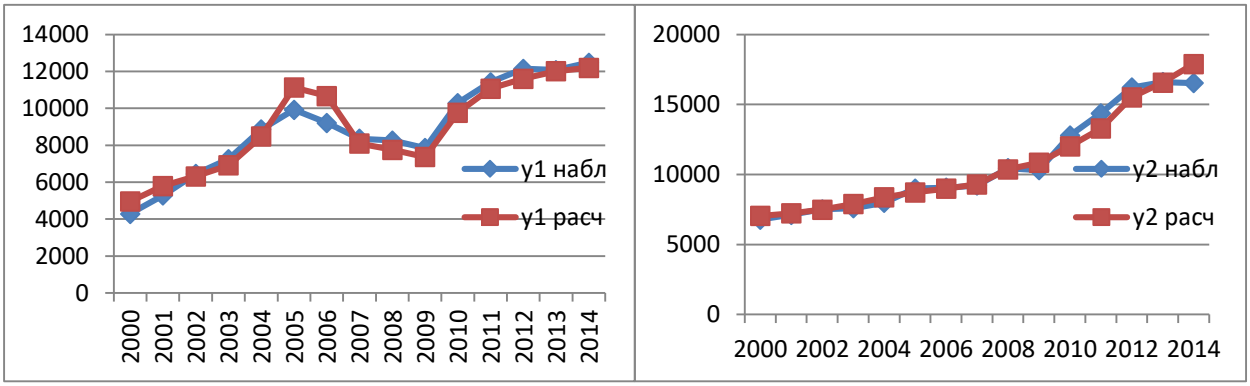
Таблица 3.9

Относительные отклонения в процентах, модель первого порядка

Год	$O.O.y_1$	$O.O.y_2$
2000	2.46	3.63
2001	3.20	0.23
2002	7.22	3.76
2003	3.22	6.82
2004	15.83	6.55
2005	16.73	3.09
2006	1.58	3.94
2007	11.20	2.17
2008	0.43	0.49
2009	17.86	2.19
2010	2.47	6.83
2011	1.03	5.68

Год	$O.O.y_1$	$O.O.y_2$
2012	0.48	3.24
2013	0.24	0.05
2014	0.19	7.38

На рисунке 3.1 приведена графическая иллюстрация наблюдаемых значений и значений, рассчитанных: а) по модели (3.2.4); б) по модели (3.2.5).



а) б)

Рис. 3.1. Графическая иллюстрация адекватности моделей

а) для модели (3.2.4); б) для модели (3.2.5)

Анализируя рисунок 3.1 и данные таблицы 3.9 можно сделать вывод о практической адекватности полученных многофакторных моделей первого порядка для грузооборота (3.2.4) и объема погрузки грузов (3.2.5).

Именно модели (3.2.4) и (3.2.4) будут использоваться при комплексном прогнозировании базовых показателей.

Определение многофакторных моделей второго порядка

Найдем многофакторные модели второго порядка (2.1.6) для грузооборота и объема погрузки грузов.

Используя метод наименьших квадратов (2.2.1), получим:

$$y_1=-187482.96+4324.28\cdot x_1+1674.33\cdot x_2-1.784\cdot x_4+218.706\cdot x_9+418.26\cdot x10-39.455\cdot x_1^2-175.322\cdot x_2^2+0.0064x_4^2-0.195\cdot x_9^2-2{,}619\cdot x10^2\ , \quad (3.2.7)$$

$$y_2=-130481.37+2168.099\cdot x_1+705.231\cdot x_2+11.02\cdot x_4+264.174\cdot x_9+301.751\cdot x_{10}-$$

$$19.15 \cdot x_1^2 - 79.66 \cdot x_2^2 + 0.00013 \cdot x_4^2 - 0.257 \cdot x_9^2 - 3.53 \cdot x_{10}^2 \ . \qquad (3.2.8)$$

Для модели (3.2.7) *F*-статистика равна 58.53; для модели (3.2.8) – 88.04.

Используя *t*-статистики, уберем незначимые факторы. Для грузооборота модель второго порядка получается следующей

$$y_1 = -46878.95 + 166.69 \cdot x_9 + \\ + 202.3 \cdot x_{10} + 0.0052 \cdot x_4^2 - 0.150 \cdot x_9^2 \ . \qquad (3.2.9)$$

Для свободного коэффициента и коэффициентов при факторах x_9, x_{10}, x_4^2, x_9^2 *t*-статистики равны: -2.98; 2.73; 12.69; 12.80; -2.53. Эти значения по модулю необходимо сравнить с критическим значением $t_{кр} \rightarrow t(n-p, q/2)$, полученного при уровне значимости q=0,05 и числе степеней свободы $n-p$, где n – объем выборки (n=15), p – число коэффициентов (p=5); $t_{кр} \rightarrow t(10, 0.025)$= 2.23. Учитывая, что *t*-статистики больше критического значения, перечисленные факторы можно считать значимыми; *F*-статистика для модели (3.2.9) равна 133.96.

Для объема погрузки грузов модель второго порядка получается следующей

$$y_2 = -49328.378 + 11.945 \cdot x_4 + \\ + 218.646 \cdot x_9 - 0.216 \cdot x_9^2 \ . \qquad (3.2.10)$$

Для свободного коэффициента и коэффициентов при факторах x_4, x_9, x_9^2 *t*-статистики равны: -3.32; 26.0; 3.83; -3.94.

Эти значения по модулю больше критического значения

$t_{кр} \rightarrow t(11, 0.025)$=2.20. Поэтому перечисленные факторы можно считать значимыми; *F*-статистика для модели (3.2.10) равна 378.03.

В таблице 3.10 приведены относительные отклонения в процентах (3.2.6) по каждому году для расчетных по моделям и наблюдаемым значениям основных показателей y_1 и y_2.

Таблица 3.10

Относительные отклонения в процентах, модель второго порядка

Год	$O.O.y_1$	$O.O.y_2$
2000	0.27	5.43
2001	5.95	3.08
2002	4.05	7.51
2003	1.68	1.75
2004	4.80	6.39
2005	3.29	0.11
2006	1.81	3.47
2007	2.78	1.72
2008	6.54	3.24
2009	0.20	0.52
2010	4.25	5.21
2011	5.77	2.65
2012	1.46	0.03
2013	2.04	0.7
2014	1.66	2

В таблице 3.11 приведены расчетные значения по многофакторным моделям первого и второго порядка, а также статистические данные по груз обороту и погрузке грузов: y_1(стат), y_2(стат) – статистические значения; $y_1(1)$, $y_1(3)$ – значения для грузооборота по моделям (3.2.4) и (3.2.9); $y_2(2)$, $y_2(4)$ – значения для погрузки грузов по моделям (3.2.5) и (3.2.10).

Если взять последние три года, то по грузообороту лучше работает модель 1-го порядка, а по погрузке грузов – 2-го порядка.

Таблица 3.11

Расчетные значения по многофакторным моделям

Год	y_1(стат)	$y_1(1)$	$y_1(3)$	y_2(стат)	$y_2(2)$	$y_2(4)$
2000	4292.75	4188,049	4308,266	6783.37	6632,189	7158,831
2001	5287.27	5118,379	5606,881	7131.18	6681,360	7367,033
2002	6452.06	6917,129	6195,191	7511.82	7115,019	6961,691
2003	7254.76	7487,469	7136,096	7593.05	7308,010	7730,602
2004	8856.90	9093,534	9285,248	7986.42	7551,092	8504,080
2005	9929.09	9641,582	10259,657	9000.01	7677,317	9016,109
2006	9218.50	8491,914	9058,121	9057.08	7654,197	8760,160
2007	8360.65	7864,388	8133,056	9217.61	7850,847	9069,388
2008	8261.37	9177,169	8804,018	10455.79	8783,992	10800,539
2009	7852.10	8155,146	7843,617	10318.48	8794,948	10390,777
2010	10286.70	10031,003	9854,316	12783.98	9642,412	12131,341
2011	11418.75	11299,176	10761,051	14371.77	10670,886	13996,911
2012	12142.74	12016,825	11967,202	16221.75	11988,711	16235,571
2013	12076.53	12170,274	12323,994	16606.09	12540,746	16732,288
2014	12473.69	12495,818	12687,465	16538.38	13255,570	16885,245

Используя результаты таблицы 3.11 и *t*-статистику (2.2.2) с учетом (2.2.3), была проверена гипотеза о значимом или незначимом отличии результатов вычисления базовых показателей по модели первого и второго порядка. Расчетные значения *t*-статистики (2.2.2) для грузооборота и погрузки грузов равны соответственно: t_{y1}=0,00 ($\tilde{d}$ =0,032; $S_{\tilde{d}}$ =105,2) и t_{y2}= 5,0. Критическое значение $t_{кр} \rightarrow t(14, 0.05)$= 2,15. Исходя из полученных значений, можно сделать вывод о том, что для грузооборота модели первого и второго порядка дают статистически одинаковые результаты, а для погрузки грузов – разные. Полученный результат не влияет на сам факт включения результатов

прогнозирования по моделям первого и второго порядка в комплексный кр итерий.

Сравнение относительных отклонений в процентах позволяют сделать вывод в пользу моделей второго порядка. Так, например, для грузооборота для модели первого порядка (3.2.4) три максимальных значения относительных отклонений в процентах равны: 11.12 (2008); 7.9 (2006); 7.16 (2002). Для модели второго порядка (3.2.9) эти значения равны: 6.54 (2008); 5.95 (2001); 5.77 (2011).

На рисунке 3.2 приведена графическая иллюстрация наблюдаемых зн ачений и значений, рассчитанных по модели (3.2.9).

На рисунке 3.3 приведена графическая иллюстрация наблюдаемых зн ачений и значений, рассчитанных по модели (3.2.10).

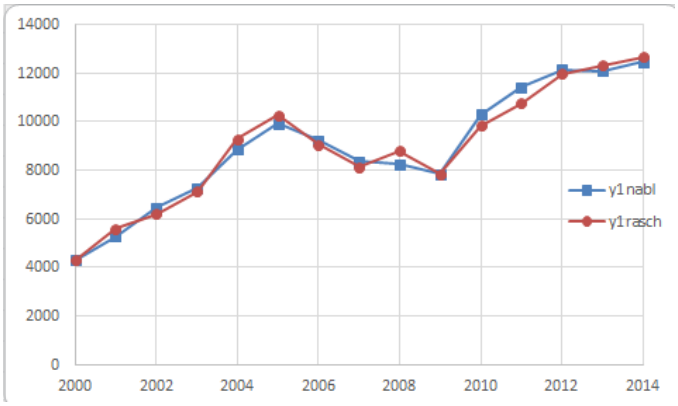


Рис. 3.2. Графическая иллюстрация адекватности модели (3.2.9)

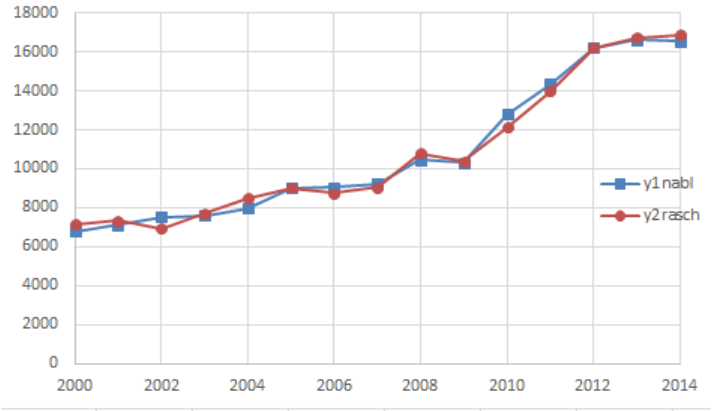


Рис. 3.3. Графическая иллюстрация адекватности модели (3.2.10)

Анализируя графическую иллюстрацию (рис. 3.2, рис. 3.3) и данные таблицы 3.10, можно сделать вывод о практической адекватности полученных многофакторных моделей второго порядка для грузооборота (3.2.9) и объема погрузки грузов (3.2.10).

Именно модели (3.2.9) и (3.2.10) будут использоваться при комплексном прогнозировании базовых показателей.

Подводя итоги этому параграфу, отметим следующее:

1. При определении частных значений (z_1, z_2) для грузооборота необходимо использовать, соответственно, многофакторные модели (3.2.4) и (3.2.9);
2. При определении частных значений (z_1, z_2) для погрузки грузов необходимо использовать, соответственно, многофакторные модели (3.2.5) и (3.2.10).

3.3. Создание и апробация факторных прогнозных моделей

Алгоритмическое обеспечение и методика создания факторных пр огнозных моделей рассмотрены в параграфе 2.3. Исходные статистические данные (временные ряды) и для факторов и для базовых показателей приведены в таблице 3.1. Экспертные оценки приведены в таблице 3.2: 1, 2 – номера вариантов.

Этот параграф реализует пятый этап методики комплексного прогноз ирования.

В качестве аппроксимирующей функции при создании факторных пр огнозных моделей будем использовать функцию (2.3.1) в виде прямой или параболы.

Критическое значение для *F*-статистики:

а) прямая, только СД – $F(1, 13, 0.05)=4,67$;

б) парабола, только СД – $F(2, 12, 0.05)=3,89$;

в) прямая, СД +ЭО – $F(1, 14, 0.05)=4,60$;

г) парабола, СД +ЭО – $F(2, 13, 0.05)=3,81$.

Здесь СД – статистические данные, ЭО – экспертные оценки.

Опишем обозначения, используемые ниже:

СД – при создании прогнозной модели используются статистические данные до 2014 года;

СД+1 – при создании прогнозной модели используются статистические данные до 2014 года и экспертная оценка на 2015 год по варианту 1 (табл. 3.2);

СД+2 – при создании прогнозной модели используются статистические данные до 2014 года и экспертная оценка на 2015 год по варианту 2 (табл. 3.2).

Используя метод наименьших квадратов, найдем параметры прямой для грузооборота (СД)

$$y_1 = 508{,}18 \cdot t + 4878{,}83. \qquad (3.3.1)$$

Значение F-статистики для функции (3.3.1) равно 61,67. На рисунке 3.4 представлена графическая иллюстрация статистических данных по грузообороту и их аппроксимацией уравнением прямой. Учитывая значение F-статистики, функцию (3.3.1) можно признать адекватной.

С учетом экспертных оценок (СД+1), получим следующее уравнение

$$y_1 = 496{,}96 \cdot t + 4942{,}54. \qquad (3.3.2)$$

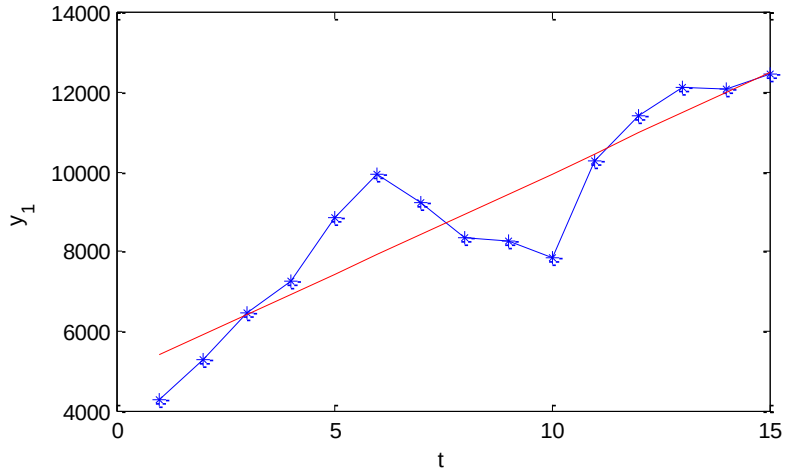


Рис. 3.4. Графическая иллюстрация статистических данных по грузообороту и их аппроксимацией уравнением прямой

Значение *F*-статистики для функции (3.3.2) равно 76.11, что является хорошим значением.

С учетом экспертных оценок (СД+2), получим следующее уравнение

$$y_1 = 447{,}08 \cdot t + 5055{,}04 . \qquad (3.3.3)$$

Значение *F*-статистики для функции (3.3.3) равно 64.58, что является хорошим значением.

Используя метод наименьших квадратов, найдем параметры прямой для погрузки грузов (СД)

$$y_2 = 765{,}01 \cdot t + 4651{,}00 . \qquad (3.3.4)$$

Значение *F*-статистики для функции (3.3.4) равно 168,74. На рисунке 3.5 представлена графическая иллюстрация статистических данных по погрузке грузов и их аппроксимацией уравнением прямой. Учитывая значение *F*-статистики, функцию (3.3.4) можно признать адекватной.

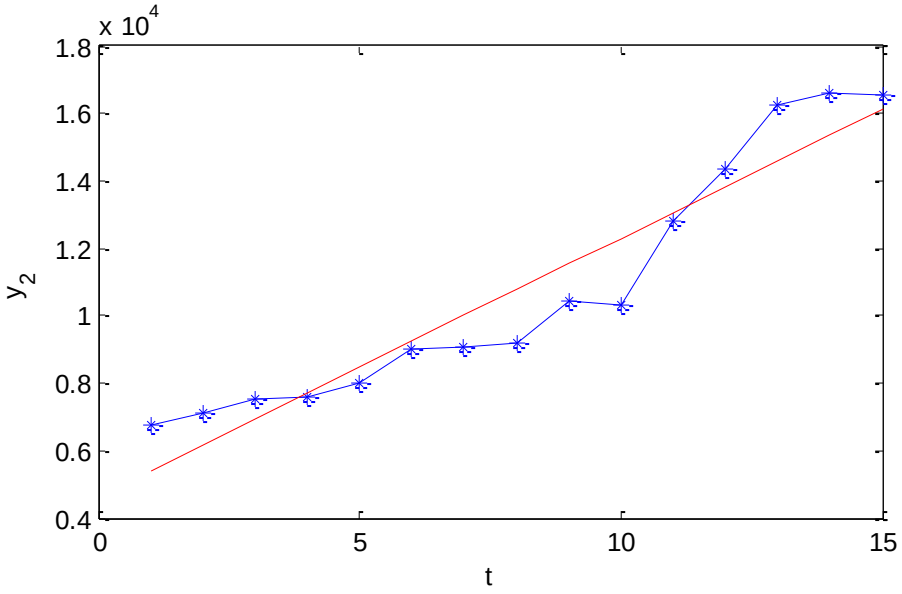


Рис. 3.5. Графическая иллюстрация статистических данных по погрузке грузов и их аппроксимацией уравнением прямой

С учетом экспертных оценок (СД+1), получим следующее уравнение

$$y_2 = 756{,}44 \cdot t + 4700{,}07 . \qquad (3.3.5)$$

Значение *F*-статистики для функции (3.3.5) равно 163.39, что является хорошим значением.

С учетом экспертных оценок (СД+2), получим следующее уравнение

$$y_2 = 721{,}14 \cdot t + 4900{,}07 . \qquad (3.3.6)$$

Значение *F*-статистики для функции (3.3.6) равно 126.20, что является хорошим значением.

Используя метод наименьших квадратов, найдем параметры прямой для средней заработной платы (СД)

$$x_4 = 68{,}689 \cdot t - 108{,}335 . \qquad (3.3.7)$$

Значение *F*-статистики для функции (3.3.7) равно 115,11. На рисунке 3.6 представлена графическая иллюстрация статистических данных по средней заработной плате и их аппроксимацией уравнением прямой. Учитывая значение *F*-статистики, функцию (3.3.7) можно признать адекватной.

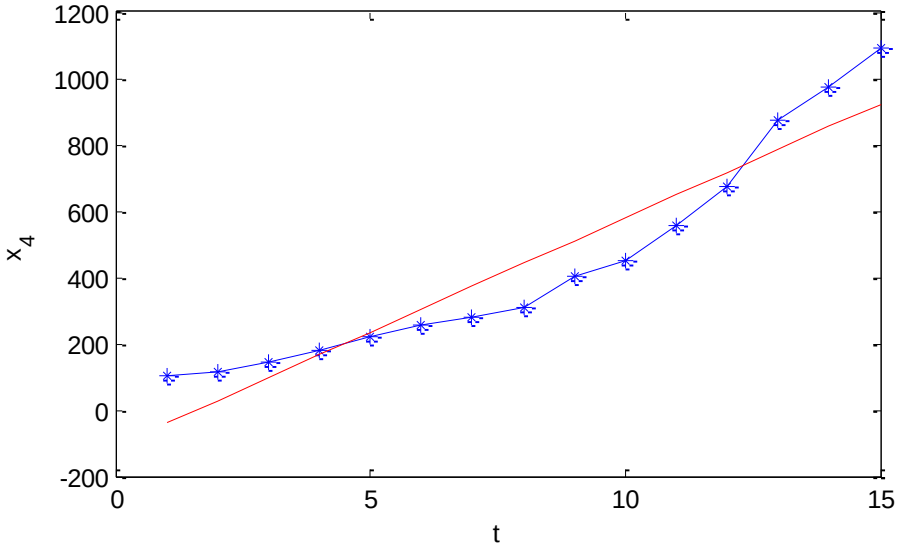


Рис. 3.6. Графическая иллюстрация статистических данных по средней заработной плате и их аппроксимацией уравнением прямой

С учетом экспертных оценок (СД+1), получим следующее уравнение

$$x_4 = 73{,}306 \cdot t - 134{,}499 . \qquad (3.3.8)$$

Значение *F*-статистики для функции (3.3.8) равно 139.76, что является хорошим значением.

С учетом экспертных оценок (СД+2), получим следующее уравнение

$$x_4 = 68{,}894 \cdot t - 109{,}499 . \qquad (3.3.9)$$

Значение *F*-статистики для функции (3.3.9) равно 151.36, что является хорошим значением.

Используя метод наименьших квадратов, найдем параметры прямой для среднесуточного пробега локомотива (СД)

$$x_9 = 7{,}046 \cdot t + 467{,}930\,. \qquad (3.3.10)$$

Значение *F*-статистики для функции (3.3.10) равно 13,63. На рисунке 3.7 представлена графическая иллюстрация статистических данных для среднесуточного пробега локомотива и их аппроксимацией уравнением прямой. Учитывая значение *F*-статистики, функцию (3.3.10) можно признать адекватной.

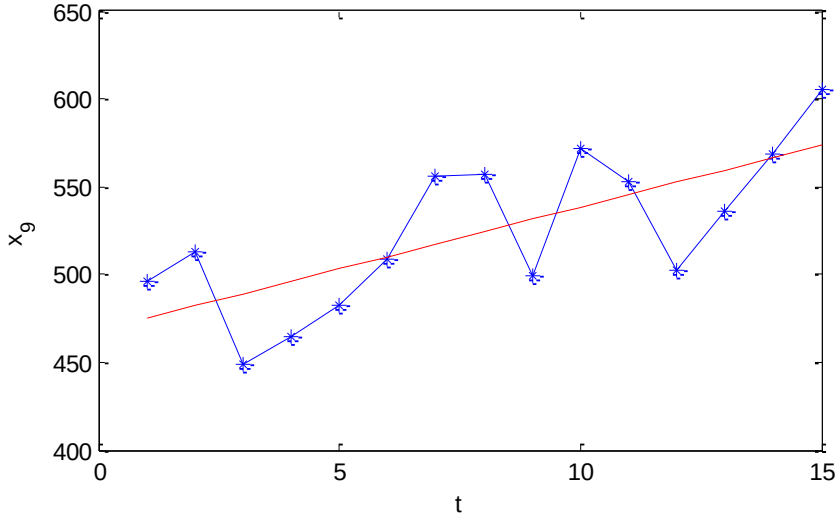


Рис. 3.7. Графическая иллюстрация статистических данных для среднесуточного пробега локомотива и их аппроксимацией уравнением прямой

С учетом экспертных оценок (СД+1), получим следующее уравнение

$$x_9 = 7{,}6932 \cdot t + 464{,}263\,. \qquad (3.3.11)$$

Значение *F*-статистики для функции (3.3.11) равно 20.35, что является хорошим значением.

С учетом экспертных оценок (СД+2), получим следующее уравнение

$$x_9 = 7{,}031 \cdot t + 468{,}013\,. \qquad (3.3.12)$$

Значение *F*-статистики для функции (3.3.12) равно 17.75, что является хорошим значением.

Используя метод наименьших квадратов, найдем параметры параболы для эксплуатационного парка локомотивов (СД)

$$x_{10} = -0{,}279 \cdot t^2 + 4{,}374 \cdot t + 26{,}25 . \qquad (3.3.13)$$

Значение *F*-статистики для функции (3.3.13) равно 6,0. На рисунке 3.8 представлена графическая иллюстрация статистических данных для эксплуатационного парка локомотивов и их аппроксимацией уравнением параболы. Учитывая значение *F*-статистики, функцию (3.3.13) можно признать адекватной.

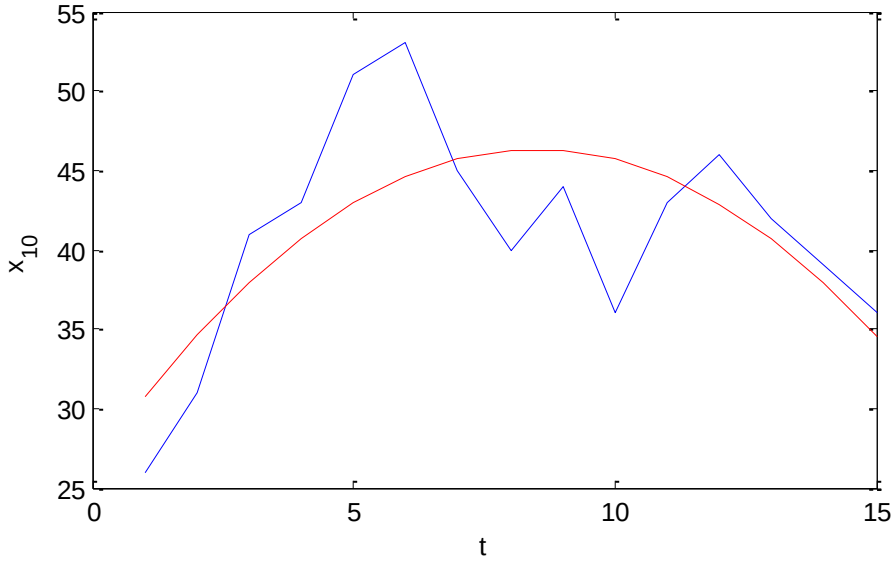


Рис. 3.8. Графическая иллюстрация статистических данных для эксплуатационного парка локомотивов и их аппроксимацией уравнением параболы

С учетом экспертных оценок (СД+1 и СД+2), получим следующее уравнение

$$x_{10} = -0{,}252 \cdot t^2 + 4{,}372 \cdot t + 27{,}077 . \qquad (3.3.14)$$

Значение *F*-статистики для функции (3.3.14) равно 6.74, что является достаточным для адекватности значением.

Подводя итоги этому параграфу, отметим следующее:

1. При определении частных значений (z_1, z_2) для базовых показателей необходимо, в зависимости от сценария развития перевозочного процесса, использовать прогнозные модели для факторов – x_4, x_9, x_{10};
2. При определении частного показателя (z_3), в зависимости от сценария развития перевозочного процесса, необходимо для грузооборота использовать модели (3.3.1), (3.3.2), (3.3.3), а для погрузки грузов – (3.3.4), (3.3.5), (3.3.6).

3.4. Апробация комплексного прогнозирования базовых показателей

Как уже отмечалось выше, для повышения точности прогнозирования базовых показателей (грузооборота и объема погрузки грузов), в работе предложен подход, названный комплексным прогнозированием. Алгоритмическое обеспечение и методика комплексного прогнозирования базовых показателей рассмотрены в параграфе 2.4. Дополнительно используются результаты параграфов 3.1-3.3.

Этот параграф реализует шестой, седьмой и восьмой этапы методики комплексного прогнозирования. Результаты этих исследований опубликованы в работе [27].

Вычисление прогнозных значений

В таблице 3.12 приведены результаты прогноза показателей и факторов по факторным моделям, полученным в параграфе 3.3. Прогноз проводится на 2015 год; учитывая, что статистические данные собраны с 2000 года, его порядковый номер равен 16.

Таблица 3.12

Результаты прогноза показателей и факторов

B	$y_1(16)$	$y_2(16)$	$x_4(16)$	$x_9(16)$	$x_{10}(16)$
СД	13009,7	16891,2	990,7	580,7	30,6
1	12893,4	16803,1	1038,4	587,4	32,5
2	12208,3	16438,4	992,8	580,5	32,5

Для варианта, когда используются только статистические данные (СД), при вычислении прогнозных значений используются следующие модели – (3.3.1), (3.3.4), (3.3.7), (3.3.10), (3.3.13):

$$y_1(16)=508{,}18\cdot 16 + 4878{,}83=13009{,}7;$$

$$y_2(16)=765{,}01\cdot 16 + 4651{,}00=16891{,}2;$$

$$x_4(16)=68{,}689\cdot 16 - 467{,}930=990{,}7;$$

$$x_9(16)=7{,}046\cdot 16 + 108{,}335=580{,}7;$$

$$x_{10}(16) = -0{,}279 \cdot 16^2 + 4{,}374 \cdot 16 + 26{,}250 = 30{,}6.$$

Для варианта 1 (табл. 3.12) при вычислении прогнозных значений используются следующие модели – (3.3.2), (3.3.5), (3.3.8), (3.3.11), (3.3.14):

$$y_1(16) = 496{,}96 \cdot 16 + 4942{,}54 = 12893{,}4;$$

$$y_2(16) = 756{,}44 \cdot 16 + 4700{,}07 = 16803{,}1;$$

$$x_4(16) = 73{,}306 \cdot 16 - 134{,}499 = 1038{,}4;$$

$$x_9(16) = 7{,}693 \cdot 16 + 464{,}263 = 587{,}4;$$

$$x_{10}(16) = -0{,}252 \cdot 16^2 + 4{,}372 \cdot 16 + 27{,}077 = 32{,}5.$$

Для варианта 2 (табл. 3.12) при вычислении прогнозных значений используются следующие модели – (3.3.3), (3.3.6), (3.3.9), (3.3.12), (3.3.14).

$$y_1(16) = 447{,}08 \cdot 16 + 5055{,}04 = 12208{,}3;$$

$$y_2(16) = 721{,}14 \cdot 16 + 4900{,}07 = 16438{,}4;$$

$$x_4(16) = 68{,}894 \cdot 16 - 109{,}499 = 992{,}8;$$

$$x_9(16) = 7{,}031 \cdot 16 + 468{,}013 = 580{,}5;$$

$$x_{10}(16) = -0{,}252 \cdot 16^2 + 4{,}372 \cdot 16 + 27{,}077 = 32{,}5.$$

Чтобы найти частные значения для выбранных сценариев, найдем весовые коэффициенты (2.4.7), используя экспертную информацию. Эти вес овые коэффициенты используются затем в линейной свертке (2.4.18).

Напомним, что в модели (2.4.18) [27]:

t – номер последнего года во временном ряде. В нашем случае t =15;

k – номер прогнозного года, k=1, 2,… В нашем случае k=1;

T – признак, характеризующий вариацию типов факторных моделей, участвующих в вычислении базовых показателей. В нашем случае используется три вариации факторных моделей, описанных выше;

p – признак, характеризующий вариации в экспертной информации. В нашем случае таких вариаций три;

$z_{c,T,p}(t+k)$ – значение комплексного показателя для одного из базовых в момент времени $(t+k)$ (2.4.18);

$z_{1,T,p}(t+k)$ – значение одного из базовых показателей в момент времени $(t+k)$, полученное по многофакторной модели первого порядка – $f_{1,T,p}(\cdot)$;

$$z1,T,p(t+k)=f1,_{T,p}(A_t, X(t+k)),$$

где A_t – вектор параметров многофакторной модели первого порядка, полученный по исходным данным до времени t; $X(t+k)$ – значения существенных факторов на момент времени $(t+k)$;

$z_{2,T,p}(t+k)$ – значение одного из базовых показателей в момент времени $(t+k)$, полученное по многофакторной модели второго порядка – $f_{2,T,p}(\cdot)$;

$$z2,_{T,p}(t+k)=f_{2,T,p}(B_t, X(t+k)),$$

где B_t – вектор параметров многофакторной модели второго порядка, полученный по исходным данным до времени t; $X(t+k)$ – значения существенных факторов на момент времени $(t+k)$;

$z_{3,T,p}(t+k)$ – значение одного из базовых показателей в момент времени $(t+k)$, полученное по факторной модели – $f_{3,T,p}(\cdot)$;

$$z_{3,T,p}(t+k)=f_{3,T,p}(C_t, (t+k)),$$

где C_t – вектор параметров факторной модели, полученный по исходным данным до времени t;

$z4,_p(t+k)$ – экспертное суждение на момент времени $(t+k)$, полученное группой экспертов;

$w_{1,p}$, $w_{2,p}$, $w3,_p$, $w_{4,p}$ – искомые сейчас весовые коэффициенты.

Вычисление весовых коэффициентов

Первоначально найдем сумму рангов для частных значений по экспертам для экспертной информации (табл. 3.3)

$$S_{rэ}=(13;\ 8;\ 4{,}5;\ 14{,}5). \qquad (3.3.15)$$

Тогда весовые коэффициенты (2.4.7) с учетом (3.3.15) равны

$$W=(0{,}325;\ 0{,}200;\ 0{,}113;\ 0{,}362). \qquad (3.3.16)$$

Учитывая (3.3.16), первая группа экспертов проранжировала частные значения по их важности в следующей последовательности:

1) прогнозное частное значение базового показателя, полученное группой квалифицированных экспертов (z_4);
2) прогнозное частное значение базового показателя, полученное по многофакторной модели первого порядка (z_1);
3) прогнозное частное значение базового показателя, полученное по многофакторной модели второго порядка (z_2);
4) прогнозное частное значение базового показателя, полученное по факторной модели (z_3).

Проверим однородность экспертов, используя коэффициент конкордации (2.4.9) и *S*-статистику (2.4.10).

Расчетное значение *S*-статистики (2.4.10) равно 63,5; критическое зн ачение $S_{кр}(L, m, q)= S_{кр}(4, 4, 0.05)=49,5$ (табл. 2.2). Так как расчетное значение больше критического, то гипотеза об однородности экспертов по их квал ификации принимается.

Коэффициент конкордации (2.4.9) равен 0,794 и близок к единице, что обосновывает однородность экспертов.

Для экспертной информации (табл. 3.4) весовые коэффициенты (2.4.7) с учетом (3.3.15) равны

$$W=(0,150; 0,367; 0,150; 0,333). \qquad (3.3.17)$$

Учитывая (3.3.17), вторая группа экспертов проранжировала частные значения по их важности в следующей последовательности:

прогнозное частное значение базового показателя, полученное по многофакторной модели второго порядка (z_2);

прогнозное частное значение базового показателя, полученное группой квалифицированных экспертов (z_4);

3, 4) прогнозное частное значение базового показателя, полученное по факторной модели (z_3) и прогнозное частное значение базового показателя, полученное по многофакторной модели первого порядка (z_1).

Заметим, что разные группы экспертов по разному проранжировали частные значения.

Проверим однородность экспертов, используя *S*-статистику (2.4.10).

Расчетное значение *S*-статистики (2.4.10) равно 150,0; критическое зн ачение $S_{кр}(L, m, q)= S_{кр}(4, 6, 0.05)=143,3$ (табл. 2.2). Так как расчетное значение больше критического, то гипотеза об однородности экспертов по их квалификации принимается.

Комплексное прогнозирование грузооборота

Используя полученные выше результаты прогноза базовых показателей и существенных факторов, представленных в таблице 3.12, а также значения весовых коэффициентов (3.3.16) или (3.3.17), получим частные и комплексные значения для различных сценариев развития перевозочного процесса для грузооборота.

В таблице 3.13 приведены частные значения ($z_{1,T,p}(16)$; $z_{2,T,p}(16)$; $z_{3,T,p}(16)$; $z_{4,p}(16)$) и комплексные прогнозные значения ($z_{c,T,p}(16)$) для грузооборота для четырех сценариев. Эти значения соответствуют сценариям, описанным в таблице 3.5.

Таблица 3.13

Частные и комплексные значения, грузооборот

C	$z_{1,T,p}(16)$	$z_{2,T,p}(16)$	$z_{3,T,p}(16)$	$z_{4,p}(16)$	$z_{c,T,p}(16)$
0	10924,7	10864,0	13009,7	12500	11717, 9
1	11256,1	11172,0	12893,4	12500	12043,7
2	11249,8	11037,7	12208,3	11600	11442,4
3	11249,8	11037,7	12208,3	11600	11432.3

0 – при вычислении частных значений ($z_{1,T,p}(16)$; $z_{2,T,p}(16)$) используются существенные факторы по строке СД (табл. 3.12), значение $z_{3,T,p}(16)$ равно $y_1(16)$

по строке СД (табл. 3.12), значение $z_{4,T,p}(16)$ равно экспертной оценке по варианту 1 (табл. 3.2), весовые коэффициенты равны (3.3.16):

$$z_{1,T,p}(16) = –743{,}98 + 6{,}723 \cdot 990{,}7 + 163{,}667 \cdot 30{,}6 = 10924{,}7;$$

$$z_{2,T,p}(16) = – 46878{,}98 + 166{,}69 \cdot 580{,}7 + 202{,}3 \cdot 30{,}6 +$$

$$0{,}0052 \cdot 990{,}7^2 – 0{,}150 \cdot 580{,}7^2 = 10864{,}0;$$

$$z_{c,T,p}(16) = 0{,}325 \cdot 10924{,}7 + 0{,}2 \cdot 10864{,}0 + 0{,}113 \cdot 13009{,}7$$

$$+ 0{,}362 \cdot 12500 = 12043{,}7 \text{ (млн.ткм)}.$$

1 – при вычислении частных значений ($z_{1,T,p}(16)$; $z_{2,T,p}(16)$) используются существенные факторы по строке 1 (табл. 3.12), значение $z_{3,T,p}(16)$ равно $y_1(16)$ по строке 1 (табл. 3.12), значение $z_{4,T,p}(16)$ равно экспертной оценке по варианту 1 (табл. 3.2), весовые коэффициенты равны (3.3.16):

$$z_{1,T,p}(16) = –743{,}98 + 6{,}723 \cdot 1038{,}4 + 163{,}667 \cdot 32{,}5 = 11256{,}1;$$

$$z_{2,T,p}(16) = – 46878{,}98 + 166{,}69 \cdot 587{,}4 + 202{,}3 \cdot 32{,}5 +$$

$$0{,}0052 \cdot 1038{,}4^2 – 0{,}150 \cdot 587{,}4^2 = 11172{,}0;$$

$$z_{c,T,p}(16) = 0{,}325 \cdot 11256{,}1 + 0{,}2 \cdot 11172{,}0 + 0{,}113 \cdot 12893{,}4$$

$$+ 0{,}362 \cdot 12500 = 11525{,}6 \text{ (млн.ткм)}.$$

2 – при вычислении частных значений ($z1_{,T,p}(16)$; $z_{2,T,p}(16)$) используются существенные факторы по строке 2 (табл. 3.12), значение $z_{3,T,p}(16)$ равно $y_1(16)$ по строке 3 (табл. 3.12), значение $z_{4,T,p}(16)$ равно экспертной оценке по варианту 2 (табл. 3.2), весовые коэффициенты равны (3.3.16):

$$z_{1,T,p}(16) = –743{,}98 + 6{,}723 \cdot 992{,}8 + 163{,}667 \cdot 32{,}5 = 11249{,}8;$$

$$z_{2,T,p}(16) = – 46878{,}98 + 166{,}69 \cdot 580{,}5 + 202{,}3 \cdot 32{,}5 +$$

$$0{,}0052 \cdot 992{,}8^2 – 0{,}150 \cdot 580{,}5^2 = 11037{,}7;$$

$$z_{c,T,p}(16) = 0{,}325 \cdot 11256{,}1 + 0{,}2 \cdot 11172{,}0 + 0{,}113 \cdot 12893{,}4$$

$$+ 0{,}362 \cdot 11600 = 11442{,}4 \text{ (млн.ткм)}.$$

3 – при вычислении частных значений ($z1_{,T,p}(16)$; $z_{2,T,p}(16)$) используются существенные факторы по строке 2 (табл. 3.12), значение $z_{3,T,p}(16)$ равно $y_1(16)$ по строке 3 (табл. 3.12), значение $z_{4,T,p}(16)$ равно экспертной оценке по варианту 2 (табл. 3.2), весовые коэффициенты равны (3.3.17) (сценарии 2 и 3 отличаются только весовыми коэффициентами:

$$z_{c,T,p}(16) = 0{,}150 \cdot 11256{,}1 + 0{,}367 \cdot 11172{,}0 + 0{,}150 \cdot 12893{,}4 + 0{,}333 \cdot 11600 = 11432{,}3 \text{ (млн.ткм).}$$

Фактическое значение по грузообороту на УБЖД в 2015 году было 11462,6 (млн.ткм). Многофакторные модели первого и второго порядка дают заниженный результат, а факторные прогнозные модели – завышенные.

Комплексное прогнозирование по всем сценариям дало удовлетворительные результаты, но наибольшей точностью обладает сценарий, когда эксперты сделали предположение о том, что показатели перевозочного пр оцесса на 2015 год будут хуже, чем в 2014 году (сценарий 2).

В нашем случае отличие в весовых коэффициентах не существенно повлияло на конечный вариант (сценарии 2 и 3), но все-таки предпочтение необходимо отдать весовым коэффициентам первой группы экспертов (3.3.16).

Таким образом, использование комплексного прогнозирования с учетом сценариев развития перевозочного процесса, зависящих от экспертной информации, является практически важным подходом, повышающим точность прогнозирования по грузообороту.

Комплексное прогнозирование по погрузке грузов

Используя полученные выше результаты прогноза базовых показателей и существенных факторов, представленных в таблице 3.12, а также значения весовых коэффициентов (3.3.16) или (3.3.17), получим частные и комплексные значения для различных сценариев развития перевозочного процесса для погрузки грузов.

В таблице 3.14 приведены частные значения ($z1_{,T,p}(16)$; $z_{2,T,p}(16)$; $z_{3,T,p}(16)$; $z_{4,p}(16)$) и комплексные прогнозные значения ($z_{c,T,p}(16)$) для погрузки грузов для четырех сценариев, описанных для таблицы 3.13.

Таблица 3.14

Частные и комплексные значения, погрузка грузов

C	$z1_{,T,p}(16)$	$z_{2,T,p}(16)$	$z_{3,T,p}(16)$	$z_{4,p}(16)$	$z_{c,T,p}(16)$
0	12628,0	16637,7	16891,2	16500	13865,3
1	12940,4	16981,9	16803,1	16500	12635,0
2	12643,7	16669,2	16438,4	14500	14549,5
3	12643,7	16669,2	16438,4	14500	15729,0

При вычислении значения $z_{1,T,p}(16)$ используется модель первого порядка (3.2.5) для объема погрузки грузов, при вычислении значения $z_{2,T,p}(16)$ используется модель второго порядка (3.2.10) для объема погрузки грузов.

0:

$$z1_{,T,p}(16) = 7932{,}577 + 7{,}123 \cdot 990{,}7 - 4{,}0665 \cdot 580{,}7 = 12628{,}0;$$

$$z2_{,T,p}(16) = -49328{,}38 + 11{,}945 \cdot 990{,}7 + 218{,}65 \cdot 580{,}7 - 0{,}216 \cdot 580{,}7^2 = 16637{,}7;$$

$$z_{c,T,p}(16) = 0{,}325 \cdot 12628{,}0 + 0{,}2 \cdot 16637{,}0 + 0{,}113 \cdot 16891{,}2 + 0{,}362 \cdot 16500 = 13865{,}3 \text{ (тыс.т)}.$$

1: –

$$z1_{,T,p}(16) = 7932{,}577 + 7{,}123 \cdot 1038{,}4 - 4{,}0665 \cdot 587{,}4 = 12940{,}4;$$

$$z_{2,T,p}(16) = -49328{,}38 + 11{,}945 \cdot 1038{,}4 + 218{,}65 \cdot 587{,}4 - 0{,}216 \cdot 587{,}4^2 = 16981{,}9;$$

$$z_{c,T,p}(16) = 0{,}325 \cdot 12940{,}4 + 0{,}2 \cdot 16981{,}9 + 0{,}113 \cdot 16803{,}1 + 0{,}362 \cdot 16500 = 12635{,}0 \text{ (тыс.т)}.$$

2: –

$$z_{1,T,p}(16) = 7932{,}577 + 7{,}123 \cdot 992{,}8 - 4{,}0665 \cdot 580{,}5 = 12643{,}7;$$

$$z2_{,T,p}(16) = -49328{,}38 + 11{,}945 \cdot 992{,}8 + 218{,}65 \cdot 580{,}5 - 0{,}216 \cdot 580{,}5^2 = 16669{,}2;$$

$$z_{c,T,p}(16) = 0{,}325 \cdot 12643{,}7 + 0{,}2 \cdot 16669{,}2 + 0{,}113 \cdot 16438{,}4 + 0{,}362 \cdot 14500 = 14549{,}5 \text{ (тыс.т)}.$$

3: –

$$z_{c,T,p}(16) = 0{,}150 \cdot 12643{,}7 + 0{,}367 \cdot 16669{,}2 + 0{,}150 \cdot 16438{,}4 + 0{,}333 \cdot 14500 = 15729{,}0 \text{ (тыс.т)}.$$

Фактическое значение по погрузке грузов на УБЖД в 2015 году было 14591,0 (тыс.т). Многофакторные модели первого порядка дают заниженный результат, а факторные прогнозные модели и модели второго порядка – завышенные.

Комплексное прогнозирование дало удовлетворительные результаты, но наибольшей точностью обладает сценарий, когда эксперты сделали пре дположение о том, что показатели перевозочного процесса на 2015 год будут хуже, чем в 2014 году (сценарий 2).

В проанализированном случае отличие в весовых коэффициентах существенно повлияло на конечный вариант (сценарии 2 и 3). Учитывая реал ьное значение по погрузке грузов, предпочтение необходимо отдать весовым коэффициентам первой группы экспертов (3.3.16).

Таким образом, использование комплексного прогнозирования с учетом сценариев развития перевозочного процесса, зависящих от экспертной информации, является практически важным подходом, повышающим точность прогнозирования по погрузке грузов.

3.5. Выводы по главе 3

1. Используя статистическую информацию по показателям перевозочного процесса на УБЖД и экспертную информацию квалифицированных специалистов, подготовлены исходные данные для апробации комплексного прогнозирования базовых показателей, использующего сценарный подход.

2. В соответствии с предложенной методикой процедуры прогнозирования, для грузооборота и погрузки грузов созданы многофакторные модели первого и второго порядка, учитывающие только

значимые факторы. Для значимых факторов и базовых показателей созданы прогнозные модели, использующие и статистическую и экспертную информацию.

3. Проведена апробация комплексного прогнозирования, испол ьзующая сценарии развития перевозочного процесса, различные варианты весовых коэффициентов частных значений, типы факторных моделей.

4. Для грузооборота многофакторные модели первого и второго порядка дают заниженный результат, а факторные прогнозные модели – зав ышенные. Комплексное прогнозирование по всем сценариям дало удовлетворительные результаты, но наибольшей точностью обладает сценарий, когда эксперты сделали предположение о том, что показатели перевозочного пр оцесса на 2015 год будут хуже, чем в 2014 году (сценарий 2).

5. Для погрузки грузов многофакторные модели первого порядка дают заниженный результат, а факторные прогнозные модели и модели второго порядка – завышенные. Комплексное прогнозирование дало удовлетворительные результаты, но наибольшей точностью обладает сценарий, когда эксперты сделали предположение о том, что показатели перевозочного пр оцесса на 2015 год будут хуже, чем в 2014 году (сценарий 2).

6. Использование комплексного прогнозирования с учетом сценариев развития перевозочного процесса, зависящих от экспертной информации, является практически важным подходом, повышающим точность прогнозирования и по грузообороту и по погрузке грузов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации разработано алгоритмическое, методическое и программное обеспечение комплексного прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса железнодорожным транспортом. В соответствии с целью и задачами исследования:

1. С позиций системного анализа создана постановка и проведена фо рмализация процедуры комплексного прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса, направленной на повышение качества принятия управленческих решений. Предлагается использовать четыре вида частных значений, оценивающих различные компоненты перевозочного процесса железнодорожным транспортом:

а) значение, полученное по многофакторной модели первого порядка;

б) значение, полученное по многофакторной модели второго порядка;

в) значение, полученное по временному ряду;

г) точечное экспертное суждение группы квалифицированных специалистов.

Многофакторные модели включают различные значимые факторы, системно характеризующие перевозочный процесс, а значения по временному ряду и точечные суждения экспертов также системно характеризуют перевозочный процесс через экспертную информацию.

2. Разработано алгоритмическое и методическое обеспечение ко мплексного прогнозирования базовых показателей, основанного на различных видах экспертной информации, типах факторных моделей, типах используемой информации, что в свою очередь позволяет создавать различные сценарии развития перевозочного процесса железнодорожным транспортом. Предложено алгоритмическое обеспечение по созданию многофакторных моделей для базовых показателей, использующая отбор существенных факторов с использованием коэффициентов парной корреляции и отбор значимых

факторов с использованием *t*-статистики. Далее создаются многофакторные модели первого и второго порядка.

3. Обоснованы четыре функции для создания факторных прогнозных моделей: полиномиальная, экспоненциальная, в виде логарифмической параболы, логистическая. Для определения параметров логистической функции рассмотрены метод трех точек и метод Родса, который рекомендован к пр именению. В качестве комплексного базового показателя выбрана линейная свертка с весовыми коэффициентами относительно частных прогнозных значений. Различная относительная важность частных прогнозных значений позволяет повысить точность прогноза за счет возможности экспертно изменять весовые коэффициенты. Весовые коэффициенты определяются на основе рангов, полученных группой экспертов.

4. На основе разработанного математического и алгоритмического обеспечения, создано программное обеспечение «Комплексное прогнозирование базовых показателей» в среде *Windows*. База данных спроектирована с использованием Interbase *Server*, обработка производится с помощью надстроек Microsoft *Excel*. Используя утилиту «Регрессия» надстройки «Пакет анализа», можно отбирать практически значимые факторы для прогнозирования базовых показателей, а также создавать многофакторные модели первого и второго порядка для оценивания грузооборота и объема погрузки грузов в будущем.

5. Используя статистическую информацию по показателям перевозочного процесса на УБЖД и экспертную информацию квалифицированных специалистов, подготовлены исходные данные для апробации комплексного прогнозирования базовых показателей, использующего сценарный подход. В соответствии с предложенной методикой процедуры прогнозирования, для грузооборота и погрузки грузов созданы многофакторные модели первого и второго порядка, учитывающие только значимые факторы. Для значимых факторов и базовых показателей созданы прогнозные модели, использующие и статистическую и экспертную информацию.

6. Проведена апробация комплексного прогнозирования, использующая сценарии развития перевозочного процесса, различные варианты весовых коэффициентов частных значений, типы факторных моделей. Для гр узооборота многофакторные модели первого и второго порядка дают заниженный результат, а факторные прогнозные модели – завышенные. Комплексное прогнозирование по всем сценариям дало удовлетворительные результаты, но наибольшей точностью обладает сценарий, когда эксперты сд елали предположение о том, что показатели перевозочного процесса на 2015 год будут хуже, чем в 2014 году. Для погрузки грузов многофакторные модели первого порядка дают заниженный результат, а факторные прогнозные модели и модели второго порядка – завышенные. Комплексное прогнозирование дало удовлетворительные результаты, но наибольшей точностью обладает сценарий, когда эксперты сделали предположение о том, что показатели перевозочного процесса на 2015 год будут хуже, чем в 2014 году.

7. Использование комплексного прогнозирования с учетом сценариев развития перевозочного процесса, зависящих от экспертной информации, является практически важным подходом, повышающим точность прогнозирования и по грузообороту и по погрузке грузов. Получен акт внедрения результатов диссертационной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазян С. А. Прикладная статистика. Исследование / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. – М. : Финансы и статистика. – 1985. – 487 с.

2. Айвазян С. А. Прикладная статистика и основы эконометрики / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян. – М. : ЮНИТИ. – 1998. – 1022 с.

3. Алексеев Е. Р. Решение задач математики в Mathcad 12, MATLAB 7, Maple 9 / Е. Р. Алексеев, О. В. Чеснокова. – М. : НТ Пресс, – 2006. – 496 с.

4. Алексеев В. И. Анализ и прогнозирование циклических временных рядов с использованием вейвлетов и нейросетевых нечетких правил вывода / В. И. Алексеев // Вестник Югорского государственного университета. – 2013. – № 3 (30). – С. 3–10.

5. Анализ и оценивание рисков информационной безопасности / А. Г. Корченко, А. Е. Архипов, С. В. Казимирчук К. : ООО «Лазурит-Полиграф», – 2013. – 275 с.

6. Анохин А. М. Методы определения коэффициентов важности критериев / А. М. Анохин [и др.] // Автоматика и телемеханика, – 1997. – № 8. – С. 3–35.

7. Архангельский С. В. КВЛ-П2.1 – эффективный инструмент обеспечения безопасности движения на железнодорожном транспорте // Транспортная безопасность и технологии. – 2005. – № 2. – С. 36–42.

8. Балдин К. В. Инвестиции: Системный анализ и управление. М. : Дашков и К°, – 2007. – 206 с.

9. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов / Т. Андерсон. – М. : Мир, – 1976. – 757 с.

10. Афифи А. Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ: пер. с англ. / А. Афифи, С. Эйзен. – М. : Мир, – 1982. – 486 с.

11. Бахвалов Н. С. Численные методы / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. – 6-е доп. и перераб. – М. : Бином, – 2008. – 636 с.

12. Бешелев С. Д. Математико–статистические методы экспертных оценок / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – М. : Статистика, – 1980. – 263 с.

13. Бокс Дж. Анализ временных рядов, прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. М. Дженкинс – М. : Мир, – 1974. – 406 с.

14. Боровиков В. П. Прогнозирование в системе Statistika в среде Windows / В. П. Боровиков, Г. И. Ивченко. – М. : Финансы и статистика, – 2000. – 384 с.

15. Вентцель Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М. : Наука, 1988. – 208 с.

16. Вишняков Я. Д. Общая теория рисков / Я. Д. Вишняков, Л. А. Радаев. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 368 с.

17. Гандер В. Решение задач в научных вычислениях с применением Maple и MATLAB / В. Гандер, И. Гржебичек. – М. : Вассамедина, 2005. – 520 с.

18. Гапанович В. А. Система УРРАН – универсальный инструмент поддержки принятия решений // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 10. – С. 16–22.

19. Гапанович В. А. Математическое и информационное обеспечение системы УРРАН / В. А. Гапанович, А. М. Замышляев, И. Б. Шубинский // Надежность. – 2013. – № 1. – С. 3–11.

20. Головченко В. Б. Оценивание параметров эконометрической модели по статистической и экспертной информации / В. Б. Головченко, С. И. Носков // Автоматика и телемеханика. – 1991. – № 4. – С. 123–134.

21. Головченко В. Б. Прогнозирование с использованием разнородной информации / В. Б. Головченко. – Иркутск : Изд–во БГУЭП, – 2005. – 71 с.

22. ГОСТ Р 54505 – 2011. Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте. – М. : Изд–во стандартов. – 2011. – 24 с.

23. Гулаков К. В. Выбор архитектуры нейронной сети для решения задач аппроксимации и регрессионного анализа экспериментальных данных /

К. В. Гулаков // Вестник Брянского государственного университета. – 2013. – №2 (38). – С. 95–105.

24. Дававаням Тамир. Разработка многофакторных моделей прогнозирования грузооборота и объема погрузки грузов / Ю. М. Краковский, Т. Дававаням // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2014. – № 4 (44). – С. 110–113.

25. Дававаням Тамир. Модели многофакторного оценивания основных показателей перевозки грузов / Т. Дававаням, Е. А. Михайлова, А. С. Яхина // Вестник ЧГУ. – 2015. – № 12. – С. 80–86.

26. Дававаням Тамир. Многофакторное оценивание показателей перевозочного процесса на основе моделей второго порядка / Ю. М. Краковский, Т. Дававаням, А. С. Яхина // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2016. – № 2 (50). – С. 82–85.

27. Дававаням Тамир. Комплексное прогнозирование базовых показателей перевозочного процесса / Ю. М. Краковский, Т. Дававаням // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2016. – № 3 (51). – С.179–184.

28. Дававаням Тамир. Создание модели многофакторного прогнозирования основных показателей УБЖД / Т. Дававаням // Материалы пятой международной НПК «Транспортная инфраструктура Сибирского региона». Иркутск : – 2014. –Т. 1. – С. 408–413.

29. Дававаням Тамир. Модели многофакторного прогнозирования грузооборота и объема погрузки грузов / Т. Дававаням // Материалы 4-й международной НПК «Безопасность регионов – основа устойчивого развития». Иркутск : – 2014. – С. 97–100.

30. Дававаням Тамир. Сравнение моделей многофакторного оценивания грузооборота и объема погрузки грузов / Т. Дававаням // Материалы шестой международной НПК «Транспортная инфраструктура Сибирского региона». Иркутск : – 2015. – С. 422–425.

31. Дававаням Тамир. Программное обеспечение комплексного прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса / Т. Дававаням, Е. А. Михайлова // Материалы седьмой международной НПК «Транспортная инфраструктура Сибирского региона». Иркутск : – 2016. – Том 1. – С. 371–374.

32. Домбровский И. А. Статистический анализ перевозочного процесса Улан-Баторской железной дороги // Материалы 4-й всероссийской НПК с международным участием «Транспортная инфраструктура Сибирского региона». Иркутск : – 2013. – Т. 1. – С. 104–108.

33. Домбровский И. А. Вероятностный анализ безубыточности грузовых перевозок на основе метода Монте-Карло / И. А. Домбровский, Ю. М. Краковский // Известия Трансиба. – 2013. – № 1 (13). – С. 125–130.

34. Домбровский И. А. Прогнозирование грузооборота дороги на основе статистической и экспертной информации / И. А. Домбровский, Ю. М. Краковский // Вестник стипендиатов DAAD. – 2013. Т. 1. – № 1-1 (10). – С. 18–25.

35. Домбровский И. А. Исследование показателей грузовых перевозок на основе статистической и экспертной информации // Материалы 5-й всероссийской НПК с международным участием «Транспортная инфраструктура Сибирского региона». Иркутск : – 2014. Т. 1. – С. 142–145.

36. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. – М.: Финансы и статистика. Т. 1, 1986. – 366 с., Т. 2, 1987. – 351 с.

37. Дубров А. М. Многомерные статистические методы для экономистов и менеджеров / А. М. Дубров, В. С. Мхитарян, Л. И. Трошин. – М. : Финансы и статистика, 2003. – 352 с.

38. Егоров А. О. Вагон – путеобследовательская станция ЦНИИ-4МД / А. О. Егоров, Б. Н. Зензинов, П.Н. Кулешов // Путь и путевое хозяйство. – 2006. – № 6. – С. 17–24.

39. Елисеева И. И. Эконометрика / И. И. Елисеева. – М. : Финансы и статистика, 2002. – 344 с.

40. Иглин С. П. Теория вероятностей и статистика на базе MATLAB / С. П. Иглин. – НТУ «ХПИ», – 2006. – 612 с.

41. Егошин А. В. Прогнозирование временного ряда на основе модифицированного метода ближайших соседей / А. В. Егошин // Вестник Волжского университета им. В. Н. Татищева. – 2009. – № 12. – С. 110–116.

42. Жарий Д. И. Исследование влияния неопределенности исходных данных на показатели пассажирских перевозок / Д. И. Жарий, Ю. М. Краковский // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2011. – № 1. – С. 96–101.

43. Жарий Д. И. Прогнозирование показателей деятельности пассажирских перевозок дальнего следования / Д. И. Жарий, Ю. М. Краковский // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2010. – № 2. – С. 209–212.

44. Жарий Д. И. Программно-математические средства вероятностного анализа безубыточности железнодорожного пассажирского транспорта : дис. … канд. техн. наук / Д. И. Жарий. – Иркутск, 2011. – 141 с.

45. Журавлева Л. В. О проблеме прогнозирования временных рядов в экономике / Л. В. Журавлева // Актуальные вопросы экономических наук. – 2010. – № 14. – С. 20–27.

46. Зверев А. В. Тандем АСТРА-КАСКАД – диагностика и мониторинг / А. В. Зверев // В мире неразрушающего контроля. – 2008. – № 3. – С. 69–71.

47. Исмагилов И. И. Принятие решений при количественных и качественных критериях описание альтернатив / И. И. Исмагилов // Исследование по информатике. – 2003. – № 6. – С. 21–28.

48. Калиткин Н. Н. Численные методы / Н. Н. Калиткин. – 2-е изд., исп. – СПб. : БХВ-Петербург, 2011. – 586 с.

49. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. / Ю. Г. Карпов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 256 с.

50. Картышов С. В. Marketing Expert – система поддержки принятия решений на всех этапах разработки стратегического и тактического планов маркетинга и контроля за их реализацией / С. В. Карташов // Маркетинг и маркетинговые исследования в России. – 1997. – № 4 (10). – С. 24–39.

51. Кельтон В. Имитационное моделирование / В. Кельтон, А. Лоу. – СПб. : Питер, 2004. – 847 с.

52. Кендалл М. Временные ряды / М. Кендалл. – М. : «Финансы и статистика», 1981. – 199 с.

53. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика / А. И. Кобзарь. – М. : Физматлит, 2006. – 238 с.

54. Колесов Д. Н. Совместный учет статистической и экспертной информации при прогнозировании временных рядов экономических показателей / Д. Н. Колесов, Н. В. Котов, А. С. Федоренко // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2007. – № 3. – С. 93–101.

55. Кокрен У. Методы выборочного исследования: пер. с англ. / У. Кохрен. – М. : «Статистика», 1976. – 440 с.

56. Краковский Ю. М. Автоматизированный расчет показателей динамических рисков при наличии отказов технических средств / Ю. М. Краковский, А. В. Начигин, Д. А. Лукьянов // Известия. – 2013. – № 4. – С. 84–88.

57. Краковский Ю. М. Моделирование регионального рынка образовательных услуг: мониторинг, анализ, прогнозирование / Ю. М. Краковский, В. К. Карнаухова // Palmarium Academic Publishing. – 2012. – 199 с.

58. Краковский Ю. М. Прогнозирование бокового износа как процедура оценки их остаточного ресурса / Ю. М. Краковский, В. А. Начигин // Контроль. Диагностика. – 2010. – № 6. – С. 30–35.

59. Краковский Ю. М. Прогнозирование остаточного ресурса машин по разнородной информации / Ю. М. Краковский, М. В. Ситчихина // Контроль. Диагностика. – 2003. – № 10. – С. 4–8.

60. Краковский Ю. М. Прогнозирование остаточного ресурса рельсов / Ю. М. Краковский, В. А. Начигин // Путь и путевое хозяйство. – 2010. – № 5. – С. 15–17.

61. Краковский Ю. М. Формализация селективной технологии инфраструктуры и страховой фонд / Ю. М. Краковский, В. А. Начигин // Мир. – 2015. – № 1. – С. 94–99.

62. Краковский Ю. М. Оценка факторов влияющих на возникновение транспортных происшествий / Ю. М. Краковский, В. А. Начигин // Путь и путевое хозяйство. – 2011. – № 11. – С. 2–4.

63. Краковский Ю. М. Управление доходностью перевозки на основе анализа безубыточности / Ю. М. Краковский, Д. И. Жарий, А. С. Селиванов // Вестник – 2011. – № 6. – С. 35–39.

64. Лапидус В. А. Методика оценки показателей процессов, влияющих на безопасность движения на основе оценки рисков / В. А. Лапидус. – М. : ЗАО «Центр «Приоритет». – 2011. – 12 с.

65. Ларичев О. И. Свойства методов принятия решений в многокритериальных задачах выбора // Автоматика и телемеханика. – 2002. – №2. – С. 146–158.

66. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах / О. И. Ларичев. – М. : Университетская книга, Логос. – 2006. – 296 с.

67. Левин Д. Ю. Управление перевозочным процессом на железнодорожном Транспорте / Д. Ю. Левин // Труды конференции «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерений»». М. : МИИТ, – 2010. – С. 74–81.

68. Лесун А. Ф. Региональный центр корпоративного управления / А. Ф. Лесун // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 9. – С. 6–10.

69. Лузгин А. Н. Адаптивная вероятностно-статистическая кластерная модель интервального прогнозирования нестационарных динамических

показателей / А. Н. Лузгин, Ю. М. Краковский // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2015. – № 1(45). – С. 112–144.

70. Лузгин А. Н. Исследование влияния параметров вероятностно-статистической кластерной модели на результаты интервального прогнозирования / А. Н. Лузгин // Материалы IV Международной практической конференции «Безопасность регионов – основа устойчивого развития». – 2014. – С. 208–212.

71. Лузгин А. Н. Прогнозирование стохастических нестационарных динамических показателей на основе математических моделей / А. Н. Лузгин, Ю. М. Краковский // Вопросы естествознания. – 2014. – № 2 (3). – С. 42–50.

72. Лузгин А. Н. Программное обеспечения интервального прогнозирования нестационарных динамических показателей / А. Н. Лузгин, Ю. М. Краковский // Вестник ИрГТУ. – 2015. – № 4. – С. 12–16.

73. Лузгин А. Н. Комплексное исследование интервального прогнозирования нестационарных показателей с применением кластерных и нейронных моделей : дис. … канд. техн. наук / А. Н. Лузгин. – Иркутск, 2015. – 151 с.

74. Лукашин Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов / Ю. П. Лукашин. – М. : «Финансы и статистика», – 2003. – 416 с.

75. Марков А. А. Комплексный диагностический мониторинг рельсового пути / А. А. Марков // В мире неразрушающего контроля. – 2008. – № 3. – С. 34–36.

76. Михайлова Е. А. Многофакторное прогнозирование выбросов загрязняющих веществ на региональном уровне: дис. … канд. техн. наук / Е. А. Михайлова. – Иркутск, 2012. – 128 с.

77. Михайлова Е. А. Многофакторное прогнозирование выбросов загрязняющих веществ на примере Забайкальского края / Е. А. Михайлова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2011. – № 2. – С. 140–144.

78. Модели и методы анализа и синтеза сценариев развития социально-экономических систем / под ред. В. Л. Шульца, В. В. Кульбы. М. : Наука, 2012. Кн. 1. – 304 с.

79. Модели и методы анализа и синтеза сценариев развития социально-экономических систем / под ред. В. Л. Шульца, В. В. Кульбы. М. : Наука, 2012. Кн. 2. – 358 с.

80. Морозов В. Н. Транссиб – национальная магистраль международного значения / В. Н. Морозов // Железнодорожный транспорт. – 2013. – №11. – С. 6–9.

81. Морозов В. Н. Новая вертикаль повысит эффективность управления / В. Н. Морозов // РЖД-партнер. – С. 14–17.

82. Морозов В. Н. К новой структуре управления / В. Н. Морозов // Пульт управления. – 2011 – № 1. – С. 5–9.

83. Начигин А. В. Алгоритмическое и математическое обеспечение вычисления показателей опасности и динамического риска при отказах технических средств: дис. … канд. техн. наук / А. В. Начигин. – Иркутск, 2013. – 136 с.

84. Ногин В. Д. Упрощенный вариант метода анализа иерархий на основе нелинейной свертки критериев / В. Д. Ногин // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2004. – Т. 44. – № 7. – С. 1259–1268.

85. Ногин В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход / В. Д. Ногин. М. : Физматлит, 2002. – 254 с.

86. Орлов А. И. Эконометрика / А. И. Орлов. – М. : Экзамен, 2002. – 441 с.

87. Пайтян К. Г. Комбинированная модель прогнозирования временных рядов с длительным периодом упреждения / К. Г. Пайтян // Анализ, моделирование и прогнозирование экономических процессов. – 2013. – С. 218–221.

88. Панкова Л. А. Организация экспертиз и анализ экспертной информации / Л. А. Панкова, А. М. Петровский, М. В. Шнейдерман. – М. : Наука, 1984. – 120 с.

89. Петровский А. Б. Многокритериальное ранжирование объектов по противоречивым данным / А. Б. Петровский // Искусственный интеллект. – 2006. – № 2. – С. 215–220.

90. Подиновский В. В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В. В. Подиновский, В. Д. Ногин. – Н. : Наука, 2007. – 254 с.

91. Поршнев С. В. Нейросетевое прогнозирование временных рядов, содержащих часовые значения стоимости электроэнергии на российском оптовом рынке электрической мощности / С. В. Поршнев, И. В. Осинцев // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. – С. 218–221.

92. Рудаков А. В. Подходы к решению задачи прогнозирования временных рядов с помощью нейронных сетей / А. В. Рудаков // Бизнес-информатика. – 2008. – № 4. – С. 29–34.

93. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. М. : Радио и связь, 1993. – 320 с.

94. Савчук В. П. Управление прибылью и бютжетирование / В. П. Савчук. М. : БИНОМ, 2005. – 432 с.

95. Самохвалов Ю. Я. Особенности применения метода анализа иерархий при оценке проблем по метрическим критериям / Ю. Я. Самохвалов // Кибернетика и системный анализ. – 2004. – № 5. – С. 15–19.

96. Стратегии обеспечения гарантированной безопасности и надежности перевозочного процесса в ОАО «РЖД» (утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 29 мая 2007 г. № 987р). – М. : ОАО «РЖД», – 2007. – 141 с.

97. Сизов А. А. Прогнозирование временных рядов с переменной структурой / А. А. Сизов // Научное обозрение. – 2014. – № 3. – С. 76–79.

98. Теория систем и системный анализ в управлении организации / под ред. А. А. Емельянова. М. : Финансы и статистика, 2006. – 848 с.

99. Типовой технологический процесс эксплуатации автоматизированной системы ведения и анализа графика исполненного движения ГИД «Урал-ВНИИЖТ» поездным диспетчером и дежурным по станции (утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 10.10.2005). – М. : ОАО «РЖД», 2005. – 102 с.

100. Тихомиров Н. П. Эконометрика / Н. П. Тихомиров, Е. Ю. Дорохина. М. : Экзамен, 2003. – 512 с.

101. Тишанин А. Г. Концепция ситуационного центра мониторинга и управления чрезвычайными ситуациями ОАО «РЖД». М. : ОАО «РЖД», 2010. – 25 с.

102. Тюрин Ю. Н. Анализ данных на компьютере / Ю. Н. Тюрин, А. А. Макаров. – М. : Инфра, 2003. – 544 с.

103. Утверждение стандартов и методик ОАО «РЖД» в развитие системы управления безопасностью движения на основе анализа рисков, методов и инструментов технического аудита (утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 21 сентября 2011 г. № 2068р). – М. : ОАО «РЖД», 2011. – 181 с.

104. Уткин Л. В. Анализ риска и принятие решений при неполной информации / Л. В. Уткин. – СПб. : Наука, 2007. – 404 с.

105. Фадеев И. В. Авторегрессионные алгоритмы прогнозирования / И. В. Фадеев [и др.]. // Машинное обучение и анализ данных. – 2011. – Т. 1. – № 1. – С. 92–103.

106. Федорова О. В. Теоретические и методические аспекты прогнозирования / О. В. Федорова // Научное обозрение. – 2012. – № 2. – С. 13–14.

107. Федотов Д. В. О прогнозировании временных рядов с помощью нейросетевых моделей / Д. В. Федотов // Решетневские чтения. – 2014. – Т. 2. – № 18. – С. 129–131.

108. Федеральный закон о железнодорожном транспорте в редакции от 02.07.2013, № 185-ФЗ.

109. Федоров Ю. Н. Повышение эффективности управления холдингом «РЖД» за счет формирования оптимальной структуры органов регионального управления основной деятельностью / Ю. Н. Федоров // Экономика железных дорог. – 2013. – № 11. – С. 41–46.

110. Фролов В. Ф. Системный подход к исследованию перевозочного процесса Восточно-Сибирской железной дороги / В. Ф. Фролов // Материалы

4-й всероссийской НПК с международным участием «Транспортная инфраструктура Сибирского региона». Иркутск, 2013. – С. 75–77.

111. Фролов В. Ф. Алгоритмическое обеспечение оценки целевых показателей перевозочного процесса / В. Ф. Фролов, С. К. Каргапольцев, В. А. Начигин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2013. – № 4. – С. 152–156.

112. Фролов В. Ф. Программное обеспечение для выбора предпочтительного сценария развития перевозочного процесса / В. Ф. Фролов, В. А. Начигин, Д. А. Лукьянов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2014. – № 1. – С. 170–174.

113. Фролов В. Ф. Процедура выбора предпочтительного сценария развития перевозочного процесса / В. Ф. Фролов, В. А. Начигин // Известия Трансиба. – 2014. – № 1. – С. 109–115.

114. Фролов В. Ф. Новые подходы к управлению перевозочным процессом в условиях динамичного изменения внешней среды / В. Ф. Фролов // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 4. – С. 14–18.

115. Фу Ф. Г. Имитационное моделирование работы грузовых транспортных терминалов / Ф. Г. Фу, А. Л. Казаков // Вестник ИрГТУ. – 2013. – № 9. – С. 37–43.

116. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс /С. Хайкин. М. : ООО «И. Д. Вильямс», 2006. – 1104 с.

117. Черноруцкий И. Г. Методы принятия решений / И. Г. Черноруцкий. Спб. : БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.

118. Четыркин Е. М. Статистические методы прогнозирования / Е. М. Четыркин. – М. : Статистика, 1975. – 184 с.

119. Шапкин И. Н. На основе имитационного моделирования / И. Н. Шапкин, А. Н. Вдовин // Железнодорожный транспорт. – 2013. – № 3. – С. 37–41.

120. Шапкин И. Н. Методологические подходы построения технологии оперативного планирования и управления поездной работы сети железных

работ на основе имитационного моделирования / И. Н. Шапкин, А. Н. Вдовин // Бюллетень транспортной информации. – 2012. – № 7. – С. 14–19.

121. Яновский Л. П. Введение в эконометрику / Л. П. Яновский, А. Г. Буховец. – М. : КНОРУС, 2007. – 255 с.

122. Яхина А. С. Прогнозирование динамики развития регионального рынка образовательных услуг / А. С. Яхина, Ю. М. Краковский // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2009. – № 2 (22). – С. 180–184.

123. Яхина А. С. Прогнозирование показателей, характеризующих рынок образовательных услуг, на основе разнородной информации / А. С. Яхина, Ю. М. Краковский // Качество. Инновации. Образование. – 2009. – № 3. – С. 2–6.

ПРИЛОЖЕНИЕ

МОНГОЛО-РОССИЙСКОЕ
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
"УЛАН-БАТОРСКАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ
ДОРОГА"

210535 Монголия, Улаанбаатар-13, Район Баянгол,
Ул.Сеул-42, П/я-376 Тел:976-21-244409,
Факс: 976-11-328360, 976-21-244417, E-mail: nms@ubtz.mn

Дата _____
№

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Настоящим подтверждается, что алгоритмическое и программное обеспечение комплексного прогнозирования базовых показателей перевозочного процесса, являющееся результатом диссертационной работы Давааням Тамир, используется в Центре статистического учета и информационных технологий Улан-Баторской железной дороги при разработке мероприятий по совершенствованию перевозочного процесса. Созданное алгоритмическое и программное обеспечение повышает эффективность работы лиц, участвующих в принятии управленческих решений. Использование этой разработки позволило более обосновано разработать мероприятия по повышению ффективности перевозки грузов на Улан-Баторской железной дороге и пов ить безопасность движения.

НАЧАЛЬНИК Д.ЖИГЖИДНЯМАА