

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет  
имени А. А. Ежевского»

На правах рукописи

**СЕЛИВАНОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ, АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ  
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫБОРА НАИЛУЧШЕГО ВАРИАНТА  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК**

Специальность 05.13.18 – Математическое моделирование,  
численные методы и комплексы программ

**Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

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

Иркутск – 2017

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ВЫБОРА НАИЛУЧШЕГО ВАРИАНТА ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК.....	11
1.1. Характеристика пассажирских перевозок дальнего следования	11
1.2. Средства моделирования пассажирских перевозок дальнего следования.....	20
1.2.1. Показатели пассажирских перевозок.....	20
1.2.2. Прогнозные модели .....	22
1.2.3. Оптимизационные модели .....	31
1.2.4. Имитационные модели. Основы имитационного моделирования.....	33
1.3. Вероятностный анализ безубыточности.....	40
1.3.1. Обоснование необходимости управления доходностью пассажирских перевозок.....	40
1.3.2. Вероятностный анализ безубыточности на основе имитационного моделирования.....	41
1.4. Формулировка цели и задач работы .....	45
2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ, АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И.....	47
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫБОРА НАИЛУЧШЕГО ВАРИАНТА ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК.....	47
2.1. Постановка задачи выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок.....	47
2.2. Алгоритмическое обеспечение вычисления показателей эффективности методом имитационного моделирования.....	52
2.2.1. Перечень показателей эффективности .....	53

2.2.2. Моделирование случайных величин.....	59
2.2.3. Обоснование объема выборки .....	71
2.3. Проверка значимости показателей риска .....	75
2.4. Выбор наилучшего варианта пассажирских перевозок.....	80
2.5. Программное обеспечение выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок.....	85
2.6. Выводы по главе 2 .....	100
3. АПРОБАЦИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «ВЫБОР НАИЛУЧШЕГО ВАРИАНТА ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И РИСКОВ».....	102
3.1. Описание Восточно-Сибирского филиала Федеральной Пассажирской Компании .....	102
3.2. Аprobация моделирующей программы.....	110
3.3. Аprobация главной задачи.....	126
3.3.1. Обоснование объема выборки .....	127
3.3.2. Вычисление показателей эффективности .....	129
3.3.3. Выбор наилучшего варианта пассажирских перевозок.....	131
3.4. Выводы по главе 3 .....	135
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	138
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	141

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Имея одно из наиболее значительных влияний на развитие товарного оборота страны, а также выполняя важную роль в удовлетворении потребности населения в перемещении, железнодорожный транспорт является основным компонентом транспортной системы России. В силу отсутствия внутренних водных путей между Востоком и Западом страны, а также удаленностью промышленных и аграрных центров от морских путей, на долю железнодорожных перевозок приходилось в 2015 году по данным Федеральной службы государственной статистики 45% грузооборота (48% относилось к трубопроводной транспортировке грузов) и 50% пассажирооборота междугороднего сообщения всех видов транспорта страны.

Одной из важнейших задач, которую ставит перед собой Федеральная пассажирская компания, является управление доходностью пассажирских перевозок дальнего следования. Важность данной задачи определяется тем, что ее решение в значительной степени поможет в создании эффективного бизнеса высокой степени доходности, но с условием сохранения транспортной подвижности населения. Основными задачами, решаемыми технологией управления доходностью являются: заполнение мощности пассажиропотока вне пиковых периодов и сглаживание всплесков мощности в пиковые периоды. В широком смысле, управление доходностью представляет собой структурные изменения при перевозке пассажиров, такие как: разработка новых маршрутов или изменение старых, уменьшение или увеличение количества вагонов в поезде, создание различных систем тарифной политики, увеличение числа оказываемых услуг и другие.

Так как пассажирские перевозки осуществляется в условиях неопределенности и риска, то оценке величины рисков, их влиянию на принятие управленческих решений в различных предметных областях, математическому моделированию перевозочного процесса, посвящена большая литература, включая нормативные документы. Отметим российских специалистов,

внесших существенный вклад в исследование и математическое моделирование различных процессов в условиях неопределенности и риска: Безродный Б.Ф., Гапанович В.А., Горелик А.В., Замышляев А.М., Краковский Ю.М., Ларичев О.И., Левин Д.Ю., Лapidус В.А., Морозов В.Н., Розенберг Е.Н., Тарасенко Ф.П., Черноруцкий И.Г., Шубинский И.Б. и др.

Для совершенствования процесса перевозки пассажиров возникает необходимость в инструментальном средстве, которое бы могло оценивать их варианты, возникающих в результате изменения тарифной политики, структурных изменениях и других факторов, по некоторым показателям эффективности, сравнивало бы их по значениям этих показателей и помогало выбрать лучший из них. В работе в качестве такого инструмента предлагается разработанное программно-математическое обеспечение, использующее вероятностный анализ безубыточности на основе имитационного моделирования, с возможностью помимо базовых показателей эффективности оценивать ряд показателей риска.

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

**Целью диссертационной работы** является разработка алгоритмов и их реализация в виде программного обеспечения для оценки вариантов пассажирских перевозок по показателям эффективности и выбора наилучшего из них, используя вероятностный анализ безубыточности на основе имитационного моделирования.

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

1. Обоснование необходимости применения вероятностного анализа безубыточности на основе имитационного моделирования применительно к пассажирским перевозкам железнодорожным транспортом, в условиях неопределенности исходных данных.

2. Создание математического обеспечения вероятностного анализа безубыточности, основанном на вероятностных моделях, позволяющего оце-

нивать показатели эффективности по каждому варианту пассажирских перевозок с последующим выбором наилучшего из них.

3. Создание математического обеспечения определения необходимого объема выборок для сравнения вариантов пассажирских перевозок.

4. Создание программного комплекса для оценки показателей эффективности с последующим выбором наилучшего варианта пассажирских перевозок на основе предложенного математического обеспечения.

5. Экспериментальная проверка созданного математического и программного обеспечения для выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок на примере Восточно-Сибирского филиала Федеральной пассажирской компании ОАО «РЖД».

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования в диссертационной работе являются железнодорожные пассажирские перевозки дальнего следования. Предмет диссертационного исследования – алгоритмическое и программное обеспечение выбора варианта пассажирских перевозок с использованием вероятностного анализа безубыточности на основе имитационного моделирования.

**Научную новизну** диссертации представляют следующие положения, которые выносятся на защиту:

1. Постановка и реализация задачи выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок на основе показателей риска в условиях неопределенности исходных данных.

2. Математическое обеспечение вероятностного анализа безубыточности для оценки показателей эффективности вариантов пассажирских перевозок, использующее вероятностные модели для описания исходных данных.

3. Численный алгоритм определения объема выборок по методу множественного ранжирования Бехгоффера и Блюменталья, достаточного для корректного выполнения сравнения вариантов пассажирских перевозок по показателям эффективности.

4. Программный комплекс, реализующий вероятностный анализ безубыточности, содержащий модуль имитационного моделирования для оценки показателей эффективности вариантов пассажирских перевозок, модуль определения объема выборок и модуль выбора наилучшего варианта.

**Практическая значимость** работы заключается в применении программного комплекса «Выбор наилучшего варианта пассажирских перевозок в условиях неопределенности и рисков» в задаче выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок, который апробирован на реальных данных регионального перевозчика пассажиров ФПК. Полученные результаты диссертационной работы используются в Восточно-Сибирском филиале Федеральной пассажирской компании ОАО «РЖД», о чем имеется соответствующий акт внедрения. Разработанное математическое и программное обеспечение, позволяющее оперативно решать задачи выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок в условиях неопределенности исходных данных, может быть использовано при решении таких задач у региональных перевозчиков пассажиров различных видов транспорта.

**Методы исследования и достоверность результатов.** При решении поставленных задач в работе использованы методы математического моделирования, численные и вероятностно-статистические методы, методы имитационного моделирования и методы объектно-ориентированного программирования. Для реализации программного обеспечения выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок использовался пакет программирования Borland Delphi 7.0. Достоверность результатов, полученных в ходе проведения комплексного исследования показателей эффективности пассажирских перевозок на реальных данных, подтверждена их сравнением с фактическими, заранее известными результатами.

**Апробация работы.** Основные результаты работы докладывались на международных, всероссийских и региональных конференциях: XV международная научно-практическая конференция «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири», Иркутск, 2009; межвузовская научно-практическая

конференция «Транспортная инфраструктура Сибирского региона», Иркутск, 2012; V всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Безопасность критических инфраструктур и территорий», Екатеринбург, 2012; XII международная научно-практическая конференция «Современные технологии документооборота в бизнесе, производстве и управлении», Пенза, 2012; III международный научно-практический конкурс «Лучшая научно-исследовательская работа 2016», Пенза, 2016.

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 12 научных работ в виде статей и докладов, включая свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Из них 3 публикации в изданиях, рекомендованных ВАК, число публикаций без соавторов – 3.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 127 наименований. Общий объем работы составляет 151 страницу, 43 рисунка и 18 таблиц.

**Во введении** обоснована актуальность работы, определена научная и практическая новизна, представлено краткое содержание диссертационной работы по главам.

**В первой главе** проведено обоснование необходимости использования вероятностного анализа безубыточности на основе имитационного моделирования при реализации средства для решения задачи выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок. Для этого:

- а) дано описание особенностей и характеристик железнодорожных пассажирских перевозок дальнего следования;
- б) проведен обзор средств моделирования пассажирских перевозок;
- в) проведено обоснование важности и необходимости решения задачи по управлению доходностью пассажирских перевозок дальнего следования на железнодорожном транспорте;
- г) выполнено описание вероятностного анализа безубыточности на основе имитационного моделирования и обоснование его применения для управления доходностью пассажирских перевозок;

д) сформулирована цель и основные задачи работы.

**Во второй главе** описано созданное алгоритмическое и программное обеспечение для оценки вариантов пассажирских перевозок дальнего следования по некоторым показателям эффективности, при помощи вероятностного анализа безубыточности на основе имитационного моделирования, сравнения их по значениям этих показателей и выбора наилучшего из них. При этом:

а) проведена постановка задачи выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок по значениям показателей эффективности по каждому из вариантов в условиях неопределенности исходных данных с использованием вероятностного анализа безубыточности на основе имитационного моделирования;

б) создано алгоритмическое обеспечение расчета показателей эффективности по каждому варианту пассажирских перевозок с возможностью использования при моделировании исходных данных одного из шести предложенных законов;

в) создано и описано математическое обеспечение определения необходимого объема выборок для сравнения вариантов пассажирских перевозок и проверки значимости показателей эффективности;

г) разработано и описано алгоритмическое обеспечение сравнения вариантов пассажирских перевозок по набору значений показателей эффективности по каждому варианту и выбору наилучшего из них;

д) создано программное обеспечение выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок, основанного на разработанном алгоритмическом обеспечении вероятностного анализа безубыточности на основе имитационного моделирования и алгоритмическом обеспечении сравнения вариантов пассажирских перевозок по набору значений показателей эффективности.

**В третьей главе** проведена апробация созданного алгоритмического и программного обеспечения для оценки вариантов пассажирских перевозок дальнего следования по показателям эффективности, при помощи вероят-

ностного анализа безубыточности на основе имитационного моделирования, сравнения их по значениям этих показателей и выбора наилучшего из них.

При этом:

а) проведена проверка алгоритмического обеспечения по оценке показателей эффективности на основе вероятностного анализа безубыточности;

б) проведена проверка алгоритмического обеспечения по проверке объема выборок;

в) проведена проверка алгоритмического обеспечения выбора наилучшего варианта по показателям риска с дополнительной проверкой их статистической значимости.

Экспериментальная проверка алгоритмического и программного обеспечения на примере Восточно-Сибирского филиала Федеральной Пассажирской Компании ОАО «РЖД» показала их работоспособность и практическую значимость.

**В заключении** приведены основные результаты работы.

## **1. ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ВЫБОРА НАИЛУЧШЕГО ВАРИАНТА ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК**

### **1.1. Характеристика пассажирских перевозок дальнего следования**

Имея одно из наиболее значительных влияний на развитие товарного оборота страны, а также выполняя важную роль в удовлетворении потребности населения в перемещении, железнодорожный транспорт является основным компонентом транспортной системы России. В силу отсутствия внутренних водных путей между Востоком и Западом страны, а также удаленностью промышленных и аграрных центров от морских путей, на долю железнодорожных перевозок приходилось в 2014 году по данным Федеральной службы государственной статистики 45% грузооборота (47% относилось к трубопроводной транспортировке грузов) и 50% пассажирооборота междугородного сообщения всех видов транспорта страны [92].

Преимущества использования железнодорожного транспорта для перевозки грузов и пассажиров определяются следующими факторами [57]:

- а) безопасность и надежность движения (в снегопад, пургу, в тумане и при других плохих погодных условиях поезда идут по графику);
- б) наибольшая провозная способность (двухпутные железнодорожные линии способны перевозить по 300-500 тыс. пассажиров за сутки, занимая при этом небольшую территорию);
- в) самая быстрая доставка пассажиров на расстояние до 700 км (с учетом отсутствия потерь времени на дорогу к аэропорту и предвзлетные операции);
- г) минимальный вред для экологии окружающей среды;
- д) лучшие условия для автоматизации перевозок (регулирование движения поездов требуется только в одном измерении, тогда как для других видов наземного транспорта – в двух измерениях. Воздушному транспорту необходимо управление движением в трех измерениях);

е) способность использовать любые виды энергии, так как тяга поездов автономна.

По дальности следования пассажирские поезда делятся на следующие категории:

1. дальние – следующие на расстояние более 700 км;
2. местные – следующие на расстояние от 150 до 700 км;
3. пригородные – следующие на расстояние до 150 км.

На долю железнодорожного транспорта в структуре пассажирооборота транспорта общего пользования приходится 58,4% междугороднего сообщения [92].

По скорости движения дальние и местные поезда делятся на скоростные, скорые и пассажирские. Скорые и скоростные поезда имеют меньшее количество остановок и меньшую их продолжительность, за счет чего достигают более высокую маршрутную скорость. Поезда этого класса используются на основных маршрутах между крупными городами.

Скорые поезда могут развивать скорость движения до 140 км/ч. Поезда, движущиеся со скоростью свыше 140 км/ч, относятся к скоростным.

Пассажирские поезда курсируют между крупными населенными пунктами, обслуживая не охваченные скорыми поездами пассажирские потоки.

В зависимости от комфортности поездки выделяют следующие категории вагонов: общие, плацкартные, купейные, СВ и люкс.

На магистралях со значительным объемом перевозки почты и багажа назначают специальные почтово-багажные поезда, в которые при необходимости могут включать и пассажирские вагоны.

Особенность организации пассажирских перевозок определяется влиянием следующих факторов: на сети железнодорожных дорог нет выделенных пассажирских линий и поэтому, график движения пассажирского поезда составляется с учетом графика движения грузовых поездов, неравномерность объемов перевозок по сезонам года, дням недели и периодам суток, неравномерность пассажиропотоков в разных направлениях движения.

Управление железнодорожными перевозками ставит перед собой решение следующих задач:

1. разработка и открытие новых маршрутов движения поездов, отмена или изменение существующих маршрутов;
2. разработка и внедрение новых способов оказания транспортных услуг;
3. совершенствование системы перевозок и управления;
4. повышение качества оказываемых транспортных услуг;
5. повышение эффективности использования железнодорожного подвижного состава за счет использования оптимальных схем формирования составов и увеличения ходовой скорости поездов;
6. формирование спроса пассажиров на транспортные услуги.

В таблице 1.1 приведены объемные показатели по железнодорожным пассажирским перевозкам [17, 92].

Таблица 1.1

Объемные показатели по железнодорожным пассажирским перевозкам

Показатель	Ед. изм	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Отправление пассажиров, в том числе:	млн чел.	1296	1137	947	993	1059	1079,2	1068,3
в дальнем следовании	млн чел.	136	117	114,9	114,8	116,5	110,8	102,8
в пригородном сообщении	млн чел.	1160	1019	831,7	878,3	941,9	968,4	965,5
Пассажирооборот, в том числе:	млрд пас-км	175,9	151,5	138,9	139,8	144,6	138,5	128,6
в дальнем следовании	млрд пас-км	129,1	113,3	110,8	110,5	113	105,8	96,1
в пригородном сообщении	млрд пас-км	46,7	38,2	28	29,3	31,6	32,7	32,5

Из приведенных данных можно проследить динамику изменения числа пассажиров и пассажирооборота. В 2009 году наблюдается снижение этих показателей по отношению к предыдущим годам, вызванное последствиями мирового финансового кризиса начавшегося в 2008 году и повлиявшего на экономику Российской Федерации, прежде всего на ее реальный сектор. Уже во втором полугодии 2008 года Российские железные дороги ощутили происходящие негативные процессы через снижение объемов погрузки, увеличивающихся отказов грузоотправителей от заявок на перевозки грузов, уменьшении объема пассажиропотока. Начиная с 2011 года видно постепенное возвращение значений показателей числа пассажиров и пассажирооборота к докризисному уровню, обусловленное активной поддержкой отрасли государством начиная с 2008 года и принятыми антикризисными мерами.

Устойчивый рост пассажирооборота обусловлен, прежде всего, увеличением средней дальности перевозок и средней скоростью пассажирских поездов. Так, например, в 2001 году средняя скорость пассажирских поездов не превышала 50 км/час, то в 2010 году она составила уже 57,4 км/час.

Снижение объемных показателей пассажирских перевозок в 2014 году вызвано напряженной внутригосударственной макроэкономической ситуацией возникшей из-за введения экономических санкций против России и сильного падения цен на нефть на международном рынке.

Не смотря на значительные объемы пассажирооборота, пассажирские перевозки являются убыточным видом деятельности для компании. Эти убытки покрываются в основном при помощи перекрестного субсидирования за счет доходов от грузовых перевозок, а также, частично, за счет компенсаций из бюджета.

В таблице 1.2 приведены данные по проценту покрытия расходов от перевозки пассажиров поездами дальнего следования для всей железной дороги за период с 2009 по 2014 год.

Таблица 1.2

Процент покрытия расходов от перевозки пассажиров поездами дальнего следования

2009	2010	2011	2012	2013	2014
82,8	83,6	85,5	86,4	90,4	86,5

Из приведенных данных видно, что процент покрытия расходов, начиная с 2009 года, планомерно увеличивался благодаря уменьшению издержек и увеличению объемных показателей перевозок. В 2014 году произошло резкое снижение доходных поступлений из-за сильного падения объемов перевозок и, как следствие, получение большего убытка.

Значение процента покрытия расходов остается ниже 100%, что свидетельствует об убытках компании и показывает необходимость государственной поддержки пассажирских перевозок дальнего следования.

В таблице 1.3 приведены данные о размерах субсидии из федерального бюджета на компенсацию потерь в доходах, возникающих в результате государственного регулирования тарифов на перевозку пассажиров в дальнем следовании за период с 2009 по 2014 год.

Таблица 1.3

Субсидии на компенсацию потерь в доходах из федерального бюджета, млрд. руб.

2009	2010	2011	2012	2013	2014
36	35,8	29,9	29,6	23,2	23,3

Можно отметить, что размер субсидий резко увеличился в 2009 году, что было обусловлено включением Правительственной комиссией ОАО «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД») в перечень системообразующих организаций нуждающихся в приоритетной поддержке государства в условиях кризиса. Подобные меры помогли компании сохранить свою финансово-экономическую стабильность, реализовать ряд ключевых инвести-

ционных проектов и оказать максимально возможную поддержку смежным отраслям экономики.

В 2010 году была осуществлена корректировка политики государства в плане смещения акцента с мер, нацеленных на антикризисную поддержку отраслей на меры, ориентированные на формирование нового промышленного потенциала, модернизацию и инновации для формирования условий для ускоренного развития экономики. Государство значительно увеличило инвестиционную поддержку мер, направленных на ускоренное развитие железнодорожной инфраструктуры, осознавая, что эти шаги послужат эффективными методами стимулирования экономики как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе. Оказав значительную поддержку, государство, начиная с 2011 года, начало постепенно уменьшать объемы субсидий, понуждая тем самым компанию к принятию мер для повышения эффективности своей деятельности.

Достижение компанией высокой рентабельности за счет ценового фактора невозможно, так как тарифы на услуги ОАО «РЖД» жестко ограничиваются государственным регулированием и обязательствами по выполнению коммерчески неэффективных, но социально значимых перевозок. В то же время во многих рыночных сегментах – уже сегодня ОАО «РЖД» работает в условиях возрастающей конкуренции. Это требует разработки и реализации активной стратегии в области повышения качества оказываемых услуг и эффективности перевозок для формирования возможностей конкуренции [101].

В 2001 году Правительством Российской Федерации была утверждена Программа структурной реформы на железнодорожном транспорте [89], которая должна была завершиться в 2010 году. Первый этап (2001 – 2003 гг.) предусматривал проведение работ по разделению функций государственного регулирования и хозяйственного управления на железнодорожном транспорте путем создания ОАО «РЖД». Второй этап (2003 – 2005 гг.) предполагал создание ДЗО ОАО «РЖД», осуществляющих открытые для конкуренции самостоятельные виды деятельности, сокращение перекрестного субсидиро-

вания пассажирских перевозок и создание условий для роста конкуренции в грузовых и пассажирских перевозках. Третий этап (2006 – 2010 гг.) включал переход большей части (60% и более) парка грузовых вагонов в частную собственность, создание Федеральной пассажирской компании по перевозкам в дальнем следовании и формирование пригородных пассажирских компаний.

Итогом выполнения первого этапа реформ стало создание в 2003 году ОАО «Российские железные дороги» [77] получившей свыше 95% активов, относящихся к министерству путей и сообщений. Само министерство путей и сообщений было упразднено.

В период выполнения второго этапа реформ было создано 27 дочерних обществ, на 100% принадлежащих ОАО «РЖД» и специализированными по видам деятельности открытыми для конкуренции. Основные виды деятельности компаний: грузовые перевозки, пригородные пассажирские перевозки, обслуживание и ремонт подвижного состава и путей, машиностроение и другие.

На третьем этапе реформ была осуществлена продажа акций дочерних обществ ОАО «РЖД», в том числе: ОАО «Элтеза» (50% минус 2 акции проданы канадской компании Bombardier), ОАО «Трансконтейнер» (36% акций), ОАО «Росжелдорпроект» (50% минус 1 акция).

Также в 2009 году правление ОАО «РЖД» одобрило создание дочернего общества в сфере перевозок пассажиров в дальнем следовании – акционерное общество «Федеральная пассажирская компания» (АО «ФПК»). Организационная структура приведена на рисунке 1.1.

Компания создана на основе имущественного комплекса, входившего в состав Федеральной пассажирской дирекции – филиала ОАО «РЖД». Доля участия ОАО «РЖД» в уставном капитале созданной компании 100% минус 1 акция. Целью создания АО «ФПК» является построение бизнеса в сфере перевозок пассажиров в дальнем следовании.

Для определения основных показателей деятельности созданной компании было составлено два сценария ее развития: базовый и амбициозный.

Базовый сценарий предполагает гарантированное достижение целевых параметров ведения хозяйственной деятельности с учетом уже реализуемых программ оптимизации издержек и исходит из предположения о развитии и функционировании экономики РФ по умеренно оптимистичному сценарию. Амбициозный сценарий исходит из предположения об оптимистичном сценарии развития и функционирования экономики. Так, согласно амбициозному сценарию пассажирооборот должен увеличиться к 2020 году в 1,19 раза по отношению к 2009 году, а доходы компании – в 2,5 раза. В базовом сценарии предполагается, что пассажирооборот должен увеличиться в 1,08 раза, а доходы в 2,0 раза [2].

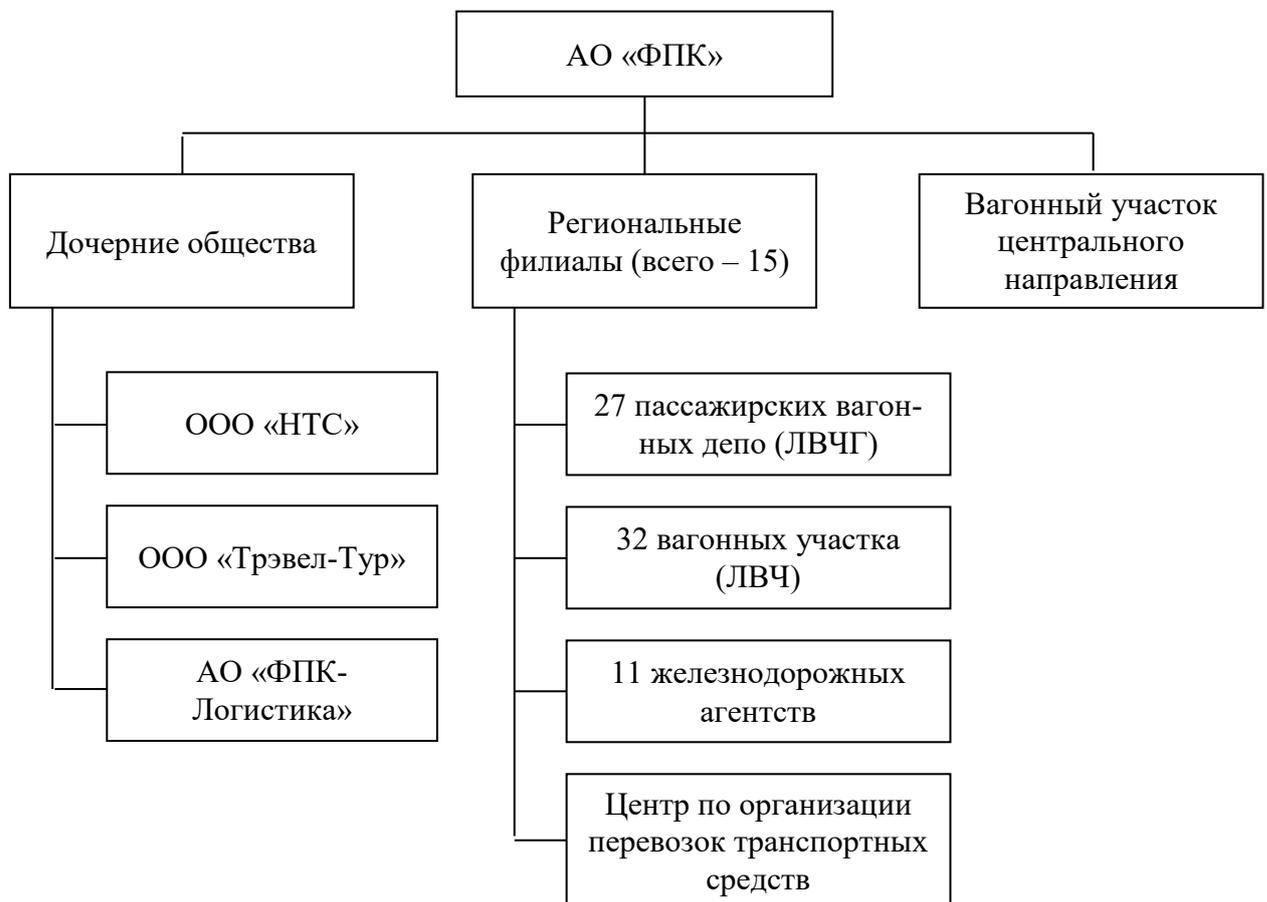


Рис. 1.1. Организационная структура АО «ФПК»

Перед руководством АО «ФПК» при разработке сценариев было поставлено решение следующих задач:

- а) повышение качества оказываемых услуг;
- б) снижение непроизводительных издержек;
- в) создание прозрачных и экономически обоснованных отношений с органами государственной власти;
- г) рост производительности труда;
- д) сокращение ремонта вагонов за счет увеличения межремонтных пробегов и изменения соответствующих нормативов.

В январе 2011 года Правительство Российской Федерации одобрило ход реформы и приняло решение о продолжении структурных преобразований железнодорожного транспорта в рамках четвертого этапа реформы. Для данного этапа ставятся задачи оптимизации системы управления грузовыми вагонами, разработки и внедрения механизмов развития и модернизации инфраструктуры, совершенствования тарифной системы в целях оптимизации использования ресурсов на железнодорожном транспорте и формирования саморегулирования на железнодорожном транспорте.

В заключении данного параграфа хотелось бы отметить следующее:

1. пассажирские перевозки, несмотря на проведение реформ, остаются убыточным видом деятельности. В связи с этим, для покрытия этих убытков компании требуется получения от государства дотаций. Однако, начиная с 2010 года, наблюдается негативная динамика в снижении государственной поддержки, что значительно повышает вероятность возникновения резкого снижения объемов социально значимых перевозок. Если в 2010 году размер дотаций составлял 35,8 млрд. руб., то в 2014 году он составил 23,3 млрд. руб.

2. функционирование предприятия в меняющихся внешних условиях, переход от монопольной модели ведения бизнеса к рыночной, ряд накопившихся комплексных проблем, решение которых необходимо в самое ближайшее время, требуют от компании новых подходов и нового взгляда на свою деятельность для повышения ее эффективности. Одним из инструментов для достижения этих целей является использование различных математи-

ческих методов и информационных технологий для анализа доходности пассажирских перевозок.

## **1.2. Средства моделирования пассажирских перевозок дальнего следования**

### **1.2.1. Показатели пассажирских перевозок**

Главной целью железнодорожных пассажирских перевозок является максимальное удовлетворение потребностей населения страны в перевозках и сокращение их убыточности за счет повышения производительности труда и снижения себестоимости пассажирских перевозок при условии повышения качества обслуживания пассажиров, улучшения организации и функционирования всех подразделений железных дорог [64]. Для этого необходимо наилучшим образом использовать перевозочные средства при безусловном обеспечении безопасности движения поездов и личной безопасности пассажиров. Решение этих задач является целью системы управления пассажирским железнодорожным транспортом.

Технико-экономические показатели характеризуют объем планируемой или выполненной работы (количественные показатели) или качество использования подвижного состава и других технических средств в пассажирском движении (качественные показатели) [37].

К количественным показателям относятся:

- пассажиропоток, характеризующий количество пассажиров проезжающих в определенное время на заданном участке маршрута в одном направлении;
- пассажирооборот, характеризующий объем работ, выполненный железнодорожным транспортом

$$Q = \sum_{i=1}^n a_i \cdot l_i , \quad (1.1)$$

где  $a_i$  – количество пассажиров, перевезенное в  $i$ -ом направлении,  $l_i$  – длина  $i$ -ого направления, а  $n$  – число направлений;

- пробеги поездов:

$$ML = \sum_{i=1}^n m_i \cdot l_i , \quad (1.2)$$

где  $m_i$  – число поездов  $i$ -го направления,  $l_i$  – длина  $i$ -го направления, а  $n$  – число направлений;

- средняя дальность поездки пассажиров:

$$L_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i \cdot l_i}{\sum_{i=1}^n a_i} , \quad (1.3)$$

где  $a_i$  – количество пассажиров, перевезенное в  $i$ -ом направлении,  $l_i$  – длина  $i$ -ого направления, а  $n$  – число направлений;

- населенность поезда, характеризующая использование пассажирами имеющихся мест в вагонах на всем пути следования поезда:

$$A_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i \cdot l_i}{\sum_{i=1}^n l_i} , \quad (1.4)$$

где  $a_i$  – количество пассажиров, перевезенное в  $i$ -ом направлении,  $l_i$  – длина  $i$ -ого направления, а  $n$  – число направлений.

К качественным показателям относятся: скорость движения, среднесуточный пробег поезда, себестоимость пассажирских перевозок и т.д.

Железнодорожные пассажирские перевозки являются достаточно сложным объектом, состоящим из многих компонентов находящихся в сложной взаимосвязи друг с другом и с внешней средой. К особенностям данного объекта исследования можно отнести постоянные структурные изменения

при перевозке пассажиров: разработка новых маршрутов или изменение старых, изменение количества вагонов в поезде и т.д. Данные особенности обосновывают использование для решения задач улучшения организации движения, оптимизации маршрутов и других задач, связанных с пассажирскими перевозками, математического моделирования.

Математические модели используются для определения и прогноза параметров работы железной дороги. Например, таких как пассажирооборот, средние скорости движения, потери времени и других. Моделированию пассажирских перевозок посвящено достаточно большое количество работ [31, 45, 63, 82, 93, 105]. Применяемые математические модели существенно различаются по используемому математическому аппарату, степени детализации, данным и задачам которые они решают. В связи с этим практически невозможно привести детальную и всеобъемлющую классификацию этих моделей. Однако, взяв за основу для классификации задачи, для которых применяются модели, можно достаточно условно выделить три базовых класса [114]:

- прогнозные модели;
- оптимизационные модели;
- имитационные модели.

Рассмотрим каждый из видов моделей более подробно.

### **1.2.2. Прогнозные модели**

Дадим определения следующим базовым понятиям: прогнозирование, прогноз и метод прогнозирования.

Прогнозирование – это специальное научное исследование конкретных перспектив развития какого-либо процесса [81]. Прогноз – это научно обоснованное суждение о возможных состояниях объекта в будущем, об альтернативных путях и сроках его существования [102]. Метод прогнозирования – это способ, алгоритм разработки прогноза [58].

В сравнении с методами математического моделирования систем имеющих различное назначение [8, 16, 28, 30, 32, 35, 40, 46, 60, 67, 68, 70, 86, 87, 90, 100, 117, 121], прогнозирование занимает существенное место в практических приложениях и научных исследованиях, что доказывается публикациями по различным сферам экономики [9, 10, 18, 19, 22, 61, 113].

Характер прогноза сильно зависит от времени упреждения событий. По этому признаку прогнозы подразделяют на: оперативные, краткосрочные, среднесрочные, долгосрочные и сверхдолгосрочные. Оперативные прогнозы имеют горизонт до года; краткосрочные – от 1 до 3 лет; среднесрочные – от 4 до 10 лет; долгосрочные – от 10 до 20 лет и сверхдолгосрочные – свыше 20 лет [58].

На практике используют различные методы прогнозирования. На выбор метода влияют, в частности, следующие факторы [84]:

- форма прогноза;
- период прогнозирования;
- доступность, соответствие и пригодность данных;
- точность прогноза;
- особенности объекта прогнозирования;
- затраты на прогнозирование.

Методы прогнозирования должны соответствовать следующим требованиям: сочетание субъективной ценности и объективной значимости оценок, четкое применение оценок, которые не допускают различных толкований относительно выбора методов, возможность накопления статистической информации и ее использования для прогнозирования.

По оценке специалистов, насчитывается более 150 методов прогнозирования, хотя на практике используется намного меньше. Существует много подходов к классификации методов прогнозирования. В частности, эти методы разделяют на количественные, качественные и комбинированные.

### *Качественные методы прогнозирования*

Качественные методы прогнозирования относятся к интуитивным (неформализованным) методам, их используют при отсутствии числовых данных или когда получить их очень сложно или дорого. При этом будущее прогнозируют эксперты, к которым обращаются за помощью.

К качественным можно отнести следующие методы прогнозирования:

#### 1. Метод экспертных оценок.

Данный метод является наиболее формализованным методом коллективного мнения и представляет собой процедуру, которая позволяет группе экспертов договориться. Эксперты заполняют опросные листы по проблеме и записывают свое мнение относительно нее. После этого каждый эксперт получает опросные листы своих коллег. Затем ему вновь предлагают рассмотреть свой прогноз и, если он не совпадает с прогнозами других, просят объяснить свою точку зрения. Процедура повторяется три или четыре раза, пока эксперты не придут к единому мнению. Использование аргументированных экспертных суждений позволяет повысить обоснованность принимаемых решений и учесть во всей возможной полноте факторы, оказывающие влияние на их результат [24].

#### 2. Метод эвристического прогнозирования.

Данный метод используется для прогнозирования поведения сложных систем с множеством параметров и целей, когда нет возможности формализовать прогноз в виде математических моделей. Данный метод основан на построении и последующем усечении дерева поиска экспертной оценки с использованием эвристических приемов и логического анализа прогнозной модели [13]. Различают две группы эвристических методов прогнозирования: интуитивные, основанные на личной эрудиции и опыте эксперта и аналитические, основанные на логическом анализе модели процесса. При использовании данного метода обрабатываются прогнозные оценки путем опроса экспертов в узкой области науки или производства. Далее, из набора заполненных экспертами таблиц создается информационный массив.

### 3. Метод коллективной генерации идей.

Данный метод, называемый еще методом «мозговой» атаки, основан на стимулировании творческой деятельности экспертов путем совместного обсуждения проблемы. Метод включает в себя два элемента: выявление вероятностных вариантов развития объекта прогноза и их оценка [98]. Он представляет собой способ коллективной мыслительной работы, способствующий выявлению нетривиальных решений обсуждаемой проблемы и основывающийся на снятии барьеров критичности и самокритичности участников. Организационно метод коллективной генерации идей может осуществляться по-разному: в виде свободного обмена мнениями, либо в виде узконаправленного поиска решения, как в ходе обычного совещания, так и в результате процесса многоэтапных заранее спланированных обсуждений.

### 4. Метод морфологического анализа.

Данный метод представляет собой метод систематизированного обзора всех возможных вариантов развития отдельных элементов исследуемой системы, построенный на полных и строгих классификациях объектов и явлений, их свойств и параметров [41]. В процессе исследования все объекты делятся на группы, каждая из которых тщательно изучается. Морфологический подход связан со структурными взаимосвязями между явлениями, концепциями и объектами. Преимущество данного метода состоит в том, что он осуществим при наличии малого объема информации по изучаемой проблеме. Результатом использования метода для анализа рисков является выработка новой информации об изучаемом объекте и присущих ему рисках и выработка возможных альтернатив управления риском.

### 5. Метод прогнозного графа.

Данный метод разработан группой специалистов института кибернетики в г. Киеве под руководством академика В.М. Глушкова [62]. Метод предназначен для прогнозирования и планирования научных и технических работ на основе графа прогнозирования решения научно-технических проблем. Процедура построения графа состоит в создании «развертки» проблемы из

будущего в настоящее с определением ожидаемых и необходимых для ее решения промежуточных событий и причинно-следственных связей между ними. В проводимом исследовании может участвовать достаточно большое число экспертов, определяющих последовательность научно-технических достижений для определенного уровня целей. Построение графа заканчивается, когда эксперты доходят до уровня событий, для реализации которых не нужно осуществлять дополнительные исследования. Такие события составляют нижний уровень графа.

#### 6. Метод прогнозирования по аналогии.

Данный метод применяется только в том случае, когда появление одного события сопровождается появлением другого и эта взаимосвязь носит устойчивый характер – характер закономерности. Разделяют две разновидности данного метода: метод математической аналогии и метод исторической аналогии [74]. Метод математической аналогии основывается на определении аналогии математических описаний различных по природе объектов. Для математического описания и прогнозирования менее изученного явления применяется математическое описание более изученного явления. Метод исторической аналогии основан на выявлении и использовании аналогии объекта прогнозирования с одинаковым по природе объектом, опережающим объект прогнозирования в своем развитии.

#### *Количественные методы прогнозирования*

Количественные методы прогнозирования основываются на использовании математических моделей, базирующихся на предыстории. Данные модели реализовываются с учетом предположения, что данные о поведении процесса в прошлом могут быть использованы и для изучения поведения процесса в будущем. Количественные методы в зависимости от общих принципов действия можно разделить на следующие группы [104]:

##### 1. Методы экстраполяции.

Экстраполяция – метод научного исследования, который основан на распространении прошлых и настоящих тенденций, закономерностей, связей

на будущее развитие объекта прогнозирования [74]. Методы экстраполяции достаточно широко применяются на практике, так как они просты, дешевы, и не требуют расчетов большой статистической базы. Использование методов экстраполяции предполагает два допущения: а) основные факторы, тенденции прошлого сохраняют свое проявление в будущем; б) исследуемое явление развивается по плавной траектории, которую можно выразить и описать математически.

В зависимости от положенных в основу прогноза принципов и исходных данных, выделяют следующие группы методов прогнозирования [97]:

- простейшие методы;
- методы на основе экстраполяции трендов;
- методы на основе дисконтирования.

К простейшим методам прогнозной экстраполяции относятся:

а) метод среднего уровня – используется для случаев, когда изменения значений уровней временных рядов имеет стационарный характер. В основу метода положен принцип, в соответствии с которым значения всех последующих прогнозируемых уровней принимаются равными среднему значению уровней ряда в прошлом. В результате использования метода получается точечный прогноз. В случае, когда маловероятно, что полученная прогнозная точечная оценка полностью совпадет с эмпирическим значением признака, используется построение интервального прогноза данным методом.

б) метод среднего абсолютного прироста – используется для случаев, когда общая тенденция развития изучаемого явления достаточно хорошо аппроксимируется линейной формой аналитического выражения. В основу метода положен принцип непрерывного увеличения последнего уровня исходного ряда динамики на величину среднего абсолютного прироста на всем периоде упреждения.

в) метод среднего темпа роста – используется для случаев, когда темпы роста, рассчитанные на основе данных исходного ряда динамики за исследуемый период, имеют практически одинаковое численное значение, а тенден-

ция развития изучаемого явления может быть описана экспоненциальной кривой и подчиняется геометрической прогрессии.

Описанные простейшие методы прогнозирования, как правило, используются при краткосрочном прогнозировании, поскольку прогнозы, полученные на их основе, являются приблизительными и не всегда надежны при увеличении периода прогнозирования. Использование данных методов прогнозирования для получения среднесрочного и долгосрочного прогноза нецелесообразно, поскольку они не учитывают скачки внутри временного ряда. Кроме этого, данные методы основаны на принципе равномерного увеличения или уменьшения последнего уровня исследуемого явления от одного периода упреждения к следующему на постоянную величину, которая выражается значением среднего темпа роста или среднего абсолютного прироста.

Аналитическое выражение тренда является наиболее распространенным методом прогнозирования. Значение уровня, описывающего развитие явления, при таком подходе, определяется воздействием большого числа факторов, влияние каждого из которых выделить отдельно не представляется возможным. Развитие процесса в данном случае связывается не с конкретными факторами, а с течением времени.

Методы прогнозирования на основе экстраполяции тренда основываются на следующих предположениях: исходный временной ряд описывается плавной кривой, условия, влияющие на тенденцию развития процесса, не изменяются значительно с течением времени и имеется достаточное количество уровней изучаемого ряда динамики для отчетливого проявления тенденции.

Наибольшее распространение получили следующие виды трендовых моделей: линейная, параболы различных степеней, степенная, показательная и логарифмическая. Если выбранная модель достаточно точно отображает тенденцию развития процесса, то полученные с ее помощью прогнозы практически всегда надежны. Прогнозирование методом экстраполяции тренда

основано на анализе тенденций развития одномерных временных рядов процессов.

Описанные выше методы прогнозирования на основе временных рядов основаны на одинаковой оценке исходной информации, вне зависимости от того отражается этой информацией последняя или прошлая тенденция развития процесса. Однако практический опыт показывает, что для получения более точных и надежных прогнозных оценок наиболее важными являются данные последних уровней. Поэтому оцениваться исходная информация должна по-разному: более поздняя информация должна оцениваться выше, чем более ранняя. Подобная оценка исходных данных может быть осуществлена при помощи взвешивания или дисконтирования.

Одним из методов прогнозирования, основанного на принципе дисконтирования является метод простого экспоненциального сглаживания.

Метод простого экспоненциального сглаживания основан на взвешивании уровней исходного временного ряда при помощи скользящей средней, веса которой подчиняются экспоненциальному закону распределения. Особенностью метода является при расчете прогнозных значений на основе модели тренда, используются значения предыдущих уровней временного ряда с учетом их веса.

Общая формула расчета экспоненциальной средней имеет вид:

$$S_t(y) = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot S_{t-1}(y) , \quad (1.5)$$

где  $S_t(y)$  – значение экспоненциальной средней временного ряда для момента  $t$ ,  $S_{t-1}(y)$  – значение экспоненциальной средней для момента  $(t-1)$ ,  $y_t$  – значение последнего уровня исходного ряда,  $\alpha$  – параметр сглаживания (вес  $t$ -го значения уровня временного ряда).

Из приведенной формулы видно, что вычисление экспоненциальной средней  $S_t(y)$  основывается на значении только предыдущей экспоненциальной средней  $S_{t-1}(y)$  и значении последнего уровня временного ряда.

Одной из трудностей использования данного метода на практике является определение значения параметра сглаживания  $\alpha$ . От значения этого параметра зависят веса предыдущих уровней временного ряда и как следствия их влияние на сглаживаемый уровень. А это в свою очередь влияет на значения прогнозных ошибок. Если значение  $\alpha$  стремится к 1, то при прогнозе в основном учитывается влияние только последних уровней временного ряда. Если значение  $\alpha$  стремится к 0, то при прогнозе учитываются прошлые уровни временного ряда. Для определения значения параметра сглаживания можно использовать специальные компьютерные программы.

## 2. Методы анализа корреляций.

Данные методы являются одними из методов статистического анализа взаимозависимости нескольких показателей. Основная задача, решаемая данными методами, состоит в оценке степени зависимости между случайными величинами [71]. Теснота связи между ними измеряется корреляционными отношениями (для нелинейной зависимости) или коэффициентом корреляции (для линейной зависимости) [85]. Предположение о наличии и тесноте связи делают в случае выявления общих закономерностей в изменении значений показателей. Взаимосвязь между показателями изучают при помощи корреляционного анализа. Исходя из характера исходной информации и задачи, которую требуется решить, производится вычисление коэффициента корреляции или корреляционного отношения.

В случае, когда полученное значение коэффициента корреляции менее 0,5 считается, что связь между показателями отсутствует. Если получено значение коэффициента корреляции более 0,5 считается, что связь между показателями существует. Чем ближе значение коэффициента корреляции к единице, тем более тесная связь между показателями.

Классификация методов корреляционного анализа определяется свойствами результатов наблюдений, свойствами факторов и свойствами стохастической зависимости между ними [6].

По количеству результатов наблюдений выходной переменной различают: скалярный (одномерный) и векторный (многомерный) корреляционный анализ.

По количеству факторов, влияющих на выходную переменную выделяют: однофакторный и многофакторный корреляционный анализ.

По форме стохастической зависимости выделяют: линейный и нелинейный корреляционный анализ.

### *Комбинированные методы прогнозирования*

Использование подхода, при котором одновременно применяется как экспертная, так и статистическая информация широко распространено на практике [18, 19, 20, 51, 64, 76]. При таком подходе, для определения близости вычисленных по модели значений временного ряда к наблюдаемым, используется метод наименьших модулей. Для прогнозных моделей линейных относительно параметров эту задачу приводят к задаче линейного программирования [26, 69].

### **1.2.3. Оптимизационные модели**

Оптимизационные модели определения параметров работы железной дороги решают задачи поиска оптимального состояния моделируемой системы, которое описывается функцией. Данная функция называется целевой, и задача сводится к поиску ее экстремального (наибольшего или наименьшего) значения. Параметры функции определяют ее оптимальное значение, поэтому требуется определить значение каждого из параметров, при котором функция достигает своего оптимального значения.

Методы оптимизации представляют собой последовательность, как правило, повторяющихся математических действий (итераций), выполняемых с целью отыскания экстремального значения целевой функции, на переменные которой наложены ограничения [91].

В зависимости от характера модели используются различные методы оптимизации. Если модель является нелинейной, то для поиска экстремума целевой функции используется либо дифференцирование, либо различные численные приближенные методы, например метод Ньютона или метод градиентного спуска.

В случае, когда модель является линейной, используются специальные численные методы, называемые методами линейного программирования. Из всех задач оптимизации задачи, решаемые методами линейного программирования, выделяются тем, что в них ограничения – системы линейных неравенств или равенств [80]. Целевая функция в таких задачах также является линейной. В качестве универсального метода оптимизации линейных моделей может использоваться симплексный метод, который эффективен в случае, когда значения переменных модели непрерывны. Сущность симплексного метода заключается в построении последовательности базисных решений, на которых значение целевой функции монотонно улучшается, до ситуации, когда полученное базисное решение нельзя больше улучшить. Такое базисное решение считается оптимальным, а задача оптимизации решенной.

Если значения переменных модели дискретны, то в этом случае лучше использовать группу комбинаторных методов оптимизации, которые позволяют получить решение задачи за меньшее, чем в симплексном методе, число итераций. В ситуации, когда значения переменных модели принимают целочисленные значения, задача оптимизации относится к целочисленному программированию. К наиболее распространенным методам решения задач целочисленного программирования относятся: метод приближения непрерывными задачами, в соответствии с которым сначала решается задача линейного программирования без учета целочисленности, а затем в окрестности оптимального решения происходит поиск целочисленных точек и метод направленного перебора, к которому относится широко известный метод ветвей и границ.

В случае, когда параметры модели носят динамический характер и изменяются во времени, используются методы динамического программирования. Процесс оптимизации, при этом, разделяется на несколько этапов, на каждом из которых определяется оптимальное значение для части параметров, которое является исходным условием определения оптимального решения на следующем этапе. Полученные оптимальные значения на последнем этапе являются итоговым решением все задачи динамического программирования.

#### **1.2.4. Имитационные модели. Основы имитационного моделирования**

Имитационное моделирование – это процесс конструирования модели реальной системы и постановки экспериментов на этой модели с целью либо понять поведение системы, либо оценить (в рамках ограничений, накладываемых некоторым критерием или совокупностью критериев) различные стратегии, обеспечивающие функционирование данной системы [115].

Под имитацией в данном случае понимается численный метод проведения экспериментов [1], а под моделированием замещение одного исходного объекта другим объектом, называемым моделью, и проведение экспериментов с моделью с целью получения информации о системе путем исследования свойств модели [3].

Имитационная модель – логико-математическое описание объекта, используемое для проведения экспериментов на компьютере для проектирования, оценки и анализа функционирования объекта [39, 50, 72].

Имитационное моделирование представляет собой частный случай математического моделирования и используется в следующих случаях:

- отсутствует законченная математическая постановка задачи или не разработаны аналитические методы решения полученной модели;

- аналитические методы решения разработаны, но являются настолько сложными и трудоемкими, что имитационное моделирование позволяет получить более простой способ решения задачи;

- помимо оценки набора параметров, необходимо выполнить на имитационной модели наблюдение за процессом в течение определенного периода;

- в связи с трудностью постановки экспериментов и наблюдений явления в реальных условиях имитационное моделирование может быть единственным средством решения задачи;

- когда требуется замедлить или ускорить течение явления по желанию, имитационное моделирование позволяет полностью контролировать время изучаемого процесса.

В общем виде структуру имитационной модели можно математически представить в виде:

$$E = f(x, y) , \quad (1.6)$$

где  $E$  – результат действия системы,  $x$  – переменные и параметры которыми можно управлять,  $y$  – переменные и параметры которыми нельзя управлять,  $f$  – функциональная зависимость между  $x$  и  $y$  определяющая величину  $E$ .

В общем виде, практически каждая модель состоит из следующих элементов: компоненты, параметры, переменные, функциональные зависимости, ограничения, целевые функции.

Под компонентами понимаются составные части, которые при объединении образуют исходную систему. В некоторых случаях, к компонентам можно отнести подсистемы или элементы системы.

Параметры, в отличие от переменных, которые могут принимать значения определенные видом функции, могут принимать произвольное значение. После установки значения параметров они являются постоянными величинами, не подлежащими изменению. Например, в случае, когда изучается

некоторая статистическая совокупность данных к параметрам можно отнести среднее значение, моду или медиану.

Переменные различают двух видов – экзогенные и эндогенные. Экзогенные переменные, называемые также входными, возникают вне системы или обуславливаются воздействием внешних причин. Эндогенные переменные, называемые также выходными или переменными состояниями, возникают в самой системе или обуславливаются воздействием внутренних причин.

Функциональные зависимости характеризуют соотношения между компонентами системы или отображают поведение переменных и параметров в пределах компонента. Данные соотношения зачастую выражаются в виде математического уравнения, которое определяет зависимость между экзогенными и эндогенными переменными.

Ограничения являются устанавливаемыми границами изменения значений переменных, которые могут вводиться в модель специально (искусственные ограничения) или определяться свойствами самой системы (естественные ограничения).

Целевая функция представляет собой отображение целей или задач системы и правил оценки их выполнения. Целевая функция достаточно часто является необходимой составляющей модели, на оптимизацию значения которой направлен весь процесс манипулирования с моделью.

Имитационные модели можно классифицировать по различным признакам. В качестве типовых, можно выделить следующие виды моделей:

- статические и динамические;
- детерминированные и стохастические;
- дискретные и непрерывные.

Статические модели описывают состав и структуру системы, а динамические модели имитируют поведение системы во времени и позволяют исследовать работу системы в заданном временном диапазоне или прогнозировать ее работу в будущем [21].

Детерминированной моделью называется модель, которая не содержит вероятностных (случайных) компонентов. В детерминированной модели результат можно получить, когда для нее заданы все входные величины и зависимости. Стохастическая модель содержит случайные входные данные компонентов и выдает результат, который является случайным сам по себе, и поэтому может рассматриваться лишь как оценка истинных характеристик модели [103].

В дискретных моделях значения переменных изменяются дискретно в определенные моменты имитационного времени. В непрерывных имитационных моделях переменные изменяются непрерывно и состояние моделируемой системы меняется как непрерывная функция времени. Как правило, эти изменения описываются системами дифференциальных уравнений.

Имитация, как способ решения различных нетривиальных задач, начала активно развиваться и применяться с созданием и развитием ЭВМ в 50-х – 60-х годах. Выделяют следующие виды имитации:

- статистическое моделирование;
- динамическое моделирование.

Статистическим моделированием называется способ исследования сложных процессов и систем, содержащих элементы стохастичности или подвергающиеся стохастическим воздействиям внешней среды при помощи имитационного моделирования с использованием в качестве теоретической базы предельные теоремы теории вероятности. При использовании данного метода при помощи ЭВМ получают статистические данные о процессах, происходящих в моделируемой системе. Для получения интересующих оценок характеристик моделируемой системы с учетом воздействий внешней среды статистические данные обрабатываются и классифицируются при помощи метода математической статистики. Одним из наиболее известных и широко используемых методов статистического моделирования является метод статистических испытаний (Монте-Карло).

Метод Монте-Карло занимает важное место среди численных методов решения разнообразных математических задач. Создателями метода на рубеже 40-50-х годов XX века стали американские математики Дж. Нейман и С. Улам. Данный метод представляет собой численный метод исследования математических моделей сложных систем, основанный на моделировании случайных элементов и последующем статистическом анализе результатов моделирования [59, 110]. Реализация данного метода основана на использовании различных предельных соотношений теории вероятности – законы больших чисел и предельные теоремы. Значение предельных теорем состоит в том, что они гарантируют достаточно высокое качество статистических оценок при весьма большом числе испытаний. Принципиальную основу применения метода Монте-Карло для вычисления математического ожидания случайной величины на основе ее независимых реализаций составляет усиленный закон больших чисел в форме Колмагорова [33].

Отметим некоторые особенности метода Монте-Карло:

- метод требует обычно меньших вычислительных затрат, чем традиционные численные методы;
- позволяет исследовать разнообразные математические модели, не обязательно вероятностные;
- иногда является единственно возможным численным методом исследования моделей сложных систем.

Динамическим моделированием называется способ исследования сложных процессов и систем, при котором модель объекта представляет собой систему уравнений, связывающих между собой основные выбранные исследователем переменные модели, называемые уровнями модели и темпами (характеризующими скорость изменения уровней модели с течением времени) [25].

Основоположником имитационного динамического моделирования в экономике считается Дж. Форрестер [107, 108, 109]. Сложные системы, при использовании данного метода описываются моделями, состоящими из тесно

связанных и влияющих друг на друга разными способами элементов. При этом связи между элементами системы могут замкнутыми, когда исходное изменение в одном элементе, передавшись через контур обратной связи, воздействует на этот же элемент и разомкнутыми. Кроме этого, в связи с тем, что реальные системы обладают некоторой инерционностью, в структуре модели используются элементы, определяющие запаздывания передачи изменений через контур связи. Имитационно-динамические модели для отображения причинно-следственных связей между элементами и динамики изменения каждого элемента используют специфический аппарат.

Имитационные модели могут использоваться для решения различных задач и для достижения разных целей. Рассмотрим наиболее распространенные задачи имитационного моделирования [115]:

1. Оценка – определение, насколько хорошо система предлагаемой структуры будет соответствовать некоторым конкретным критериям.

Для решения данной задачи в результате одного прогона моделирующей программы накапливаются и затем обрабатываются статистическими методами данные об исследуемых показателях системы. Задача решается за один прогон моделирующей программы и относится к основным задачам метода имитационного моделирования.

2. Сравнение – сопоставление конкурирующих систем, рассчитанных на выполнение определенной функции, или же сопоставление нескольких предлагаемых рабочих принципов или методик.

Для решения задачи сравнения используются специальные модели и критерии, учитывающие, что получение результатов моделирование происходит из выборки конечного объема.

3. Прогноз – оценка поведения системы при некотором предполагаемом сочетании рабочих условий.

При решении задачи прогнозирования в имитационную модель подставляются прогнозные значения различных переменных и затем рассчитываются прогнозные значения исследуемых показателей системы.

4. Анализ чувствительности – выявление из большого числа действующих факторов тех, которые в наибольшей степени влияют на общее поведение системы.

Для решения данной задачи наиболее часто используется один из методов математической статистики, называемый дисперсионным анализом. Дисперсионный анализ представляет собой статистический метод анализа результатов наблюдений, зависящих от различных одновременно действующих факторов, помогающий осуществить выбор наиболее важных факторов и оценить их влияние [116].

5. Оптимизация – точное определение такого сочетания действующих факторов и их величин, при котором обеспечивается наилучший отклик всей системы в целом.

6. Выявление функциональных соотношений – определение природы зависимости между двумя или несколькими действующими факторами, с одной стороны, и откликом системы – с другой.

Для решения этой задачи используются методы регрессионного анализа. Регрессионный анализ представляет собой статистический метод исследования влияния одной независимой переменной (простая регрессия) или нескольких независимых переменных (многофакторная регрессия) на зависимую переменную [29]. К основным целям регрессионного анализа относят:

- определение степени влияния независимых переменных на зависимую переменную;
- прогнозирование значения зависимой переменной на основе значений независимых переменных;
- определения степени влияния отдельных независимых переменных на зависимую переменную.

### **1.3. Вероятностный анализ безубыточности**

#### **1.3.1. Обоснование необходимости управления доходностью пассажирских перевозок**

Одной из важнейших задач, которую ставит перед собой Федеральная пассажирская компания, в связи с проводимыми реформами железнодорожного транспорта, является управление доходностью пассажирских перевозок дальнего следования [48, 66]. Важность данной задачи обусловлена тем, что с одной стороны, на текущий момент пассажирские перевозки являются убыточным видом деятельности и требуют дотаций от государства, а с другой стороны тем, что основной целью создания АО «ФПК» является создание эффективного бизнеса высокой степени доходности, но с условием сохранения транспортной подвижности населения.

Убыточность пассажирских перевозок связана с их социально-экономической направленностью, определяющей невысокие цены проезда в общих и плацкартных вагонах, низкие цены на провоз багажа, необходимость обеспечения убыточных, но социально значимых маршрутов и предоставления льготного проезда определенным категориям граждан. Кроме этого, на убыточность перевозок влияет достаточно значительное территориальное распределение населения с небольшой плотностью. Для обеспечения высокой доходности и эффективности пассажирских перевозок требуется внедрение и использование новых технологий. К таким технологиям можно отнести следующие: организация крупных транспортно-пересадочных узлов, в которых будет происходить распределение пассажирских потоков из различных городов по поездам с большим количеством вагонов, обеспечивая их большую загрузку; создание крупных, технологически оснащенных депо для осуществления ремонта подвижного состава и перенесение ремонта в такие депо; объединение различных маршрутов на один состав, когда по достижении конечного пункта одного маршрута поезд отправляется не обратно, а

идет по другому маршруту с изменением числа вагонов; создание гибкой тарифной политики, при которой стоимость проезда зависит от величины срока поездки и календарного времени года. Все это создает предпосылки для внедрения на АО «ФПК» динамического ценообразования и управления доходностью перевозок.

Основными задачами, решаемыми технологией управления доходностью являются: заполнение мощности пассажиропотока вне пиковых периодов и сглаживание всплесков мощности в пиковые периоды. К основным принципам данной технологии можно отнести следующие [48]:

- определение цены исходя из потребностей рынка, а не из величины издержек;
- принятие решения на основе точной и исчерпывающей информации;
- сосредоточение внимания на цене, а не на издержках.

Исходя из сказанного, возникает необходимость в инструментальном средстве, которое бы могло оценивать варианты пассажирских перевозок, возникающих в результате изменения тарифной политики, структурных изменениях и других факторов, по некоторым показателям эффективности, сравнивало бы их по значениям этих показателей и помогало выбрать лучший из них. В качестве такого средства предлагается использовать вероятностный анализ безубыточности на основе имитационного моделирования.

### **1.3.2. Вероятностный анализ безубыточности на основе имитационного моделирования**

Для исследования цепочки «издержки – продажи – прибыль» наиболее часто применяется инструмент анализа безубыточности или еще по-другому называемый анализ «издержки – объем продаж – прибыль» (CVP-анализ). Данный анализ представляет собой аналитический инструмент для изучения взаимосвязей между издержками и доходами при разных уровнях производ-

ства услуг, товаров или другой продукции [14, 23, 38, 56, 73, 78, 79, 119, 118, 120].

Практическую ценность данный подход представляет благодаря тому, что он позволяет [96]:

- определить запас «прочности» для текущего состояния предприятия;
- определить объем реализации продукции, для достижения требуемого уровня прибыли;
- определить и сравнить доходность отдельных видов продукции, для выбора «оптимального» ассортимента.

Использование анализа безубыточности в классическом варианте предполагает следующие условия:

- весь объем изготовленной продукции должен быть продан в течение планового периода времени;
- использование деления издержек на постоянные и переменные, в зависимости от характера их изменения при изменении объема продаж изготовленной продукции;
- использование для анализа объема прибыли до выплаты налогов (операционной прибыли).

При планировании деятельности предприятия на основе CVР-анализа используется CM-формат отчета о прибыли, который, в отличие от традиционного отчета классифицирующего издержки на производственные и непроизводственные, основывается на маргинальном или вложенном доходе. Величина вложенного дохода должна покрыть все постоянные издержки и обеспечить заданный уровень прибыли.

На рисунке 1.2. представлено графическое отображение метода анализа безубыточности. Здесь  $x$  – переменные затраты на единицу продукции (руб./н.е.);  $k$  – постоянные затраты (руб.);  $y$  – выручка на единицу продукции (руб./н.е.);  $q$  – объем продаж (н.е.);  $G$  – общая выручка от реализации  $q$  единиц продукции;  $V$  – общие затраты от производства  $q$  единиц продукции.

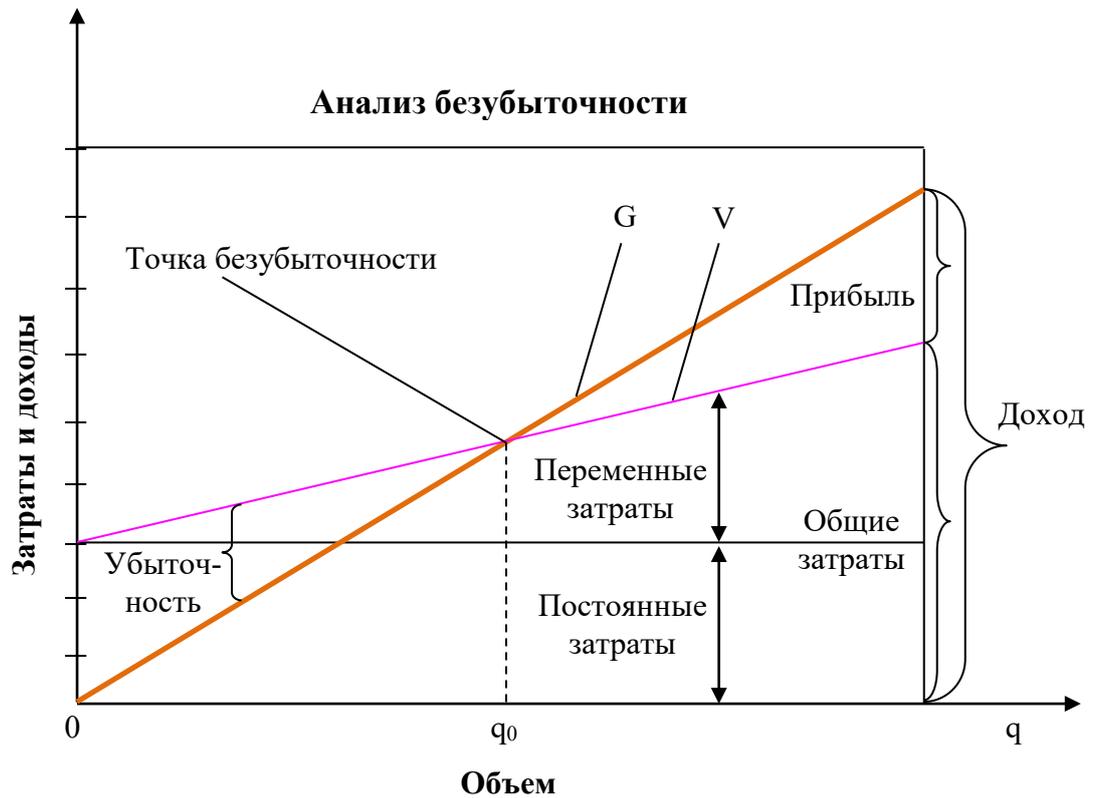


Рис. 1.2. Графическое представление анализа безубыточности

Чистая прибыль от реализации  $q$  единиц продукции определяется по формуле:

$$T = G - V ; \quad (1.7)$$

$$G = y \cdot q ;$$

$$V = x \cdot q + k .$$

Точка безубыточности  $q_0$  представляет собой минимальный объем реализации, при котором расходы будут компенсированы доходами, а при последующем увеличении реализации на единицу продукции предприятие начнет получать прибыль.

Достаточно часто на практике выручку, постоянные и переменные затраты считают детерминированными величинами. Этот подход позволяет достаточно просто определить точку безубыточности и вычислить объем продаж, обеспечивающий заданный уровень прибыли. Однако в реальности предприятие зачастую осуществляет свою деятельность в условиях неопре-

деленности, что позволяет считать выручку и затраты случайными величинами. Данный подход называется вероятностным анализом безубыточности, используется на практике и достаточно подробно описан в литературе [79, 118]. Точка безубыточности, при таком подходе, также как и прибыль, становится случайной величиной.

При практическом использовании вероятностного анализа безубыточности для получения результатов применяются численные методы интегрирования и аппарат теории вероятностей. Все это приводит к достаточно большому объему требуемых вычислений и недостаточной точности, особенно когда диапазон изменения значений случайной величины конечен.

Для устранения всех выше перечисленных недостатков нами предлагается использовать имитационно-аналитический подход, где в качестве аргумента  $q$  будет выступать пассажирооборот. В сравнении с численно-аналитическим методом [56, 79] предлагаемый подход обладает существенной гибкостью без потери точности.

Метод имитационного моделирования является разделом математического моделирования и относится к численным методам. Поэтому он имеет все положительные и отрицательные стороны этого класса методов [65, 72, 88]. Однако если сравнивать с численно-аналитическим подходом, этот метод значительно менее трудоемкий и более гибкий. Данный метод позволяет увеличивать число законов распределения вероятностей для описания случайных величин, получать достаточную для практики точность вычислений за приемлемое время при усложнении модели затрат. Кроме этого, использование данного метода позволит установить взаимосвязь между исходными данными имитационной модели (экзогенные переменные), характеризующими каждый изучаемый вариант пассажирских перевозок и выходными (эндогенными переменными) показателями эффективности через аппарат анализа безубыточности.

На текущий момент реализовано большое множество пакетов имитационного моделирования, к наиболее известным из которых можно отнести:

EXTEND, ITHINK, PILGRIM, POWERSIM и другие. Однако их анализ показал, что они обладают рядом существенных недостатков: высокая стоимость пакетов, необходимость специального обучения для использования пакетов, закрытые модели и алгоритмы обработки данных, отсутствие возможности обоснования объема выборок достаточного для корректного выполнения сравнения вычисленных оценок показателей. Все это привело к решению о необходимости создания собственной моделирующей программы, реализующей вероятностный анализ безубыточности на основе метода Монте-Карло, как разновидности имитационного моделирования.

#### **1.4. Формулировка цели и задач работы**

Как уже указывалось ранее, одной из важнейших задач которую ставит перед собой Федеральная пассажирская компания, в связи с проводимыми реформами железнодорожного транспорта, является управление доходностью пассажирских перевозок дальнего следования. Важность данной задачи обусловлена тем, что с одной стороны, на текущий момент пассажирские перевозки являются убыточным видом деятельности и требуют дотаций от государства, а с другой стороны тем, что основной целью создания АО «ФПК» является создание эффективного бизнеса высокой степени доходности, но с условием сохранения транспортной подвижности населения. В связи с этим, возникает необходимость в инструментальном средстве, которое бы могло оценивать варианты пассажирских перевозок, возникающих в результате изменения тарифной политики, структурных изменений и других факторов, по некоторым показателям эффективности, сравнивало бы их по значениям этих показателей и помогало выбрать лучший из них. В работе в качестве такого средства предлагается использовать вероятностный анализ безубыточности на основе имитационного моделирования.

Все сказанное, обосновывает актуальность выбранной темы и позволяет сформулировать цель и задачи работы.

**Целью диссертационной работы** является разработка методов и алгоритмов и их реализация в виде программного обеспечения для оценки вариантов пассажирских перевозок по показателям эффективности и выбора наилучшего из них, используя вероятностный анализ безубыточности на основе имитационного моделирования.

Для реализации поставленной цели в работе решаются следующие **задачи**:

1. Обоснование необходимости применения вероятностного анализа безубыточности на основе имитационного моделирования применительно к пассажирским перевозкам железнодорожным транспортом, в условиях неопределенности исходных данных.

2. Создание математического обеспечения вероятностного анализа безубыточности, основанном на вероятностных моделях, позволяющего оценивать показатели эффективности по каждому варианту пассажирских перевозок с последующим выбором наилучшего из них.

3. Создание математического обеспечения определения необходимого объема выборок для сравнения вариантов пассажирских перевозок.

4. Создание программного комплекса для оценки показателей эффективности с последующим выбором наилучшего варианта пассажирских перевозок на основе предложенного математического обеспечения.

5. Экспериментальная проверка созданного математического и программного обеспечения для выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок на примере Восточно-Сибирского филиала Федеральной пассажирской компании ОАО «РЖД».

## **2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ, АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫБОРА НАИЛУЧШЕГО ВАРИАНТА ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК**

Вторая глава посвящена описанию созданного математического и программного обеспечения для выбора наилучшего варианта региональных пассажирских перевозок дальнего следования.

Математическое обеспечение содержит три составляющих: моделирование случайных величин, обоснование объем выборки, проверка значимости показателей эффективности, выбор наилучшего варианта пассажирских перевозок.

Программное обеспечение содержит три компоненты: модуль расчета показателей эффективности (моделирующая программа), модуль проверки значимости показателей эффективности и модуль выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок.

### **2.1. Постановка задачи выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок**

Одной из важных задач, которую ставит перед собой Федеральная пассажирская компания, в связи с проводимыми реформами железнодорожного транспорта, является управление доходностью пассажирских перевозок дальнего следования [48, 66]. Решение данной задачи позволяет во многом решить проблему неравномерности объемов перевозок по сезонам года и неравномерность пассажиропотоков в разных направлениях движения. В широком смысле управление доходностью представляет собой структурные изменения при перевозке пассажиров: разработка новых маршрутов или изменение старых, уменьшение или увеличение количества вагонов в поезде, создание узловых станций, создание различных систем тарифной политики, увеличение количества оказываемых услуг и другие.

Для оценки влияния различных вариантов организации пассажирских перевозок на доходность, экспертами формируются варианты пассажирских перевозок

$$B = (b_j, j = \overline{1, J}), \quad (2.1)$$

где  $j$  – номер варианта пассажирских перевозок, а  $J$  – общее количество сформированных вариантов.

Исходными данными каждого варианта пассажирских перевозок ( $ID$ ) являются:  $Q$  – пассажирооборот в натуральных единицах;  $X$  – переменные затраты на единицу пассажирооборота;  $K$  – постоянные затраты;  $Y$  – цена единицы пассажирооборота;  $D$  – размер дотаций;  $In$  – размер инвестиций.

$$ID = (d_{lj}, l = \overline{1, L}, j = \overline{1, J}), \quad (2.2)$$

где  $l$  – номер исходных данных варианта перевозок,  $j$  – номер варианта пассажирских перевозок, и  $L$  – общее количество исходных данных по каждому варианту перевозок.

Таким образом, возникает задача выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок из имеющихся вариантов ( $B$ ) на основе исходных данных ( $ID$ ) по каждому из вариантов.

Общая схема предлагаемой реализации выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок приведена на рисунке 2.1.

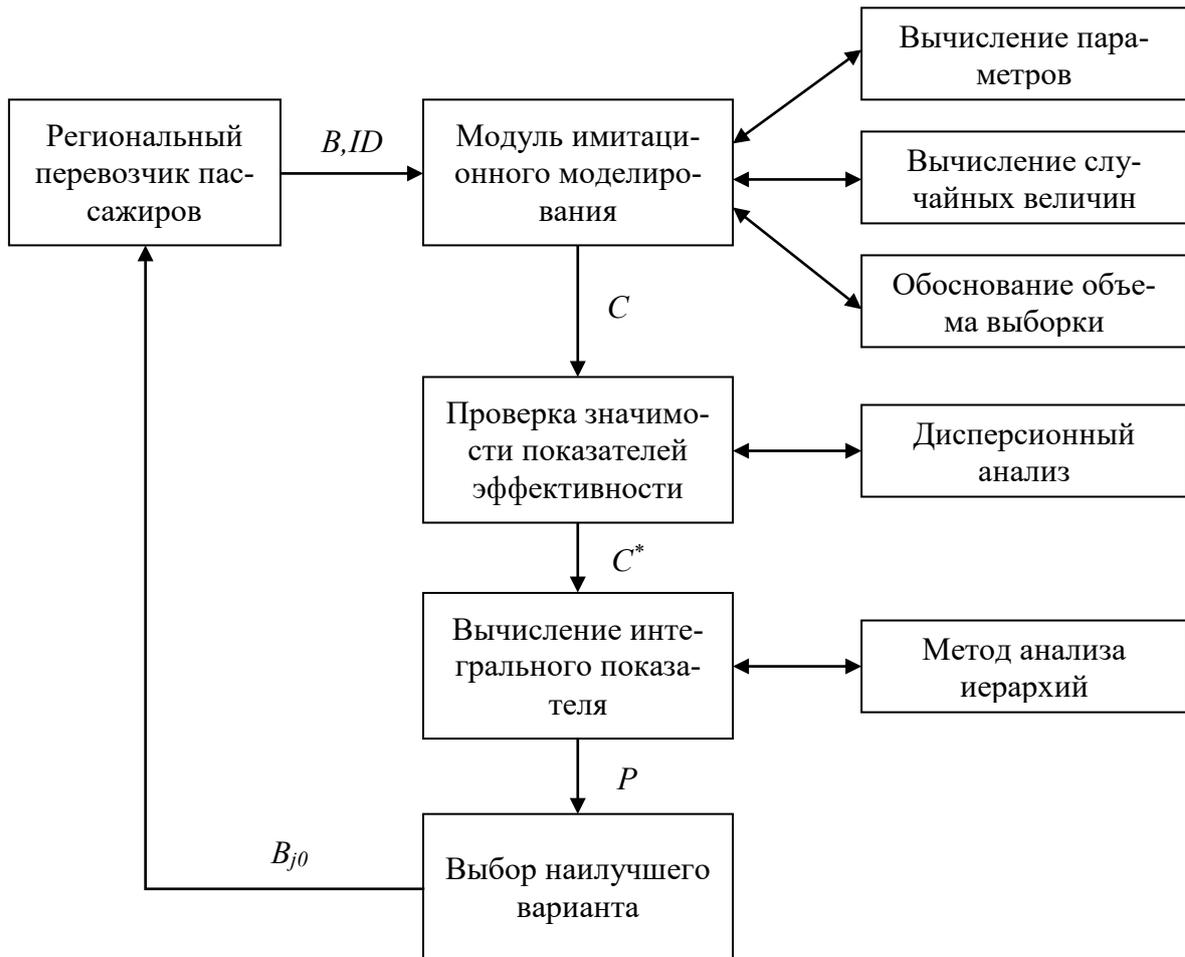


Рис. 2.1. Общая схема реализации выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок

В качестве источника первичной информации для решения задачи выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок выступает региональный перевозчик пассажиров, который формирует исходные данные ( $B$ ) и ( $ID$ ), являющиеся входными для модуля имитационного моделирования.

Модуль имитационного моделирования позволяет получить количественные оценки базовых показателей эффективности по каждому варианту пассажирских перевозок, необходимые для проверки влияния варианта перевозок на доходность. В основу работы данного модуля заложена методика вероятностного анализа безубыточности на основе метода Монте-Карло, обоснованная в работах [52, 53]. Также, в процессе работы модуля задей-

ствуются следующие блоки: блок «Вычисление параметров», выполняющий преобразование переданных в него числовых характеристик законов распределения в их параметры; блок «Вычисление случайных величин», выполняющий моделирование случайных величин с заданным законом распределения вероятностей и блок «Обоснование объема выборки», выполняющий проверку достаточности объема выборки для дальнейшего сравнения вариантов пассажирских перевозок по значениям показателей эффективности.

Результатом работы модуля имитационного моделирования является получение значений показателей эффективности по каждому из вариантов пассажирских перевозок

$$C = (c_{ij}, i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J}), \quad (2.3)$$

где  $i$  – номер показателя эффективности,  $j$  – номер варианта пассажирских перевозок и  $I$  – общее количество показателей эффективности.

В качестве показателей эффективности по каждому варианту пассажирских перевозок выступает набор следующих показателей: значение точки безубыточности, вложенный доход, операционная прибыль, запас безопасности, риск по показателю вложенного дохода, риск по показателю запаса безопасности, операционный риск, показатель рентабельности инвестиций, риск по показателю рентабельности инвестиций и срок окупаемости инвестиций.

Учитывая большое число показателей эффективности, выбор наилучшего варианта предлагается проводить по двум технологиям: 1) используя информацию экспертов, определяется наиболее важный показатель для выбора варианта (в модуле «Вычисление интегрального показателя» в данном случае происходит ранжирование показателей эффективности по их значимости); 2) используя рекомендованный набор показателей, определяется интегральный показатель по ним, который затем используется для выбора наилучшего варианта.

В данной работе предлагается подход, когда для выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок по интегральному показателю использу-

ются показатели риска, как вероятности специальных событий. Было выделено четыре показателя, которые могут быть оценены рисками: риск по показателю вложенного дохода, риск по показателю запаса безопасности, операционный риск и риск по показателю рентабельности инвестиций.

Отобранные показатели риска далее передаются в модуль «Проверка значимости показателей риска», который осуществляет проверку их значимости. При проверке значимости оценивается влияние вариантов пассажирских перевозок на значение каждого показателя риска, и отбираются те из них, значения которых существенно зависят от варианта перевозок. В работе данного модуля используется блок «Дисперсионный анализ», реализующий метод дисперсионного анализа для выполнения проверки значимости показателей.

Результатом работы модуля «Проверка значимости показателей риска» является получение набора значений значимых показателей риска по каждому из отобранных для анализа вариантов пассажирских перевозок

$$C^* = (c^*_{ij}, i = \overline{1, I^*}, j = \overline{1, J}), \quad (2.4)$$

где  $i$  – номер значимого показателя риска,  $j$  – номер варианта пассажирских перевозок и  $I^*$  – общее количество значимых показателей риска.

На основе полученного набора значений значимых показателей риска  $C^*$  в модуле «Вычисление интегрального показателя» происходит вычисление значения интегрального показателя по каждому варианту пассажирских перевозок

$$P = (p_j, j = \overline{1, J}), \quad (2.5)$$

где  $j$  – номер варианта пассажирских перевозок.

Вычисление интегрального показателя производится на основе значений значимых показателей риска и их весовых коэффициентов, характеризующих их значимость для лиц, принимающих решение (ЛПР).

Ранжирование показателей эффективности и вычисление их весовых коэффициентов осуществляется посредством блока «Метод анализа иерархий», который реализует метод анализа иерархий.

Полученный набор интегральных показателей  $P$  далее передается в модуль «Выбор наилучшего варианта», осуществляющий выбор наилучшего варианта пассажирских перевозок по экстремальному значению интегрального показателя.

Стоит отметить, что для показателей риска экстремальным значением будет считаться наименьшее из имеющихся

$$B_{j0} = \min_j p_j . \quad (2.6)$$

Выбранный наилучший вариант пассажирских перевозок  $B_{j0}$  возвращается региональному перевозчику пассажиров.

## **2.2. Алгоритмическое обеспечение вычисления показателей эффективности методом имитационного моделирования**

Работа модуля имитационного моделирования, позволяющего получить количественные оценки базовых показателей эффективности по каждому варианту пассажирских перевозок, основана на методе статистических испытаний (метод Монте-Карло). Метод Монте-Карло является важнейшей разновидностью имитационного моделирования. Согласно данному методу, в каждом проводимом испытании моделируются значения исходных данных и на основании их рассчитываются значения показателей эффективности, в соответствии с разработанными вычислительными алгоритмами.

По каждому показателю эффективности формируется выборка объема  $n$ :

$$X(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n) . \quad (2.7)$$

Затем выполняется обработка каждой полученной выборки (2.7) стандартными статистическими методами: формируется гистограмма относи-

тельных частот, определяются точечные и интервальные оценки числовых характеристик и т.д.

Рассмотрим, в качестве примера, получение точечной ( $\tilde{x}$ ) и интервальной ( $x_1, x_2$ ) оценки для математического ожидания:

$$\tilde{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n; \quad x_1 = \tilde{x} - \delta; \quad x_2 = \tilde{x} + \delta; \quad \delta = z_\gamma s / \sqrt{n}, \quad (2.8)$$

где  $z_\gamma$  – квантиль нормированного нормального закона для доверительной вероятности  $\gamma$ , например,  $z_\gamma = 1,96$  при  $\gamma = 0,95$ ;

$s$  – оценка среднеквадратического отклонения,

$$s = \sqrt{s^2}; \quad (2.9)$$

$s^2$  – оценка дисперсии,

$$s^2 = \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 - n\tilde{x}^2 \right) / (n - 1). \quad (2.10)$$

### 2.2.1. Перечень показателей эффективности

В качестве показателей эффективности по каждому варианту пассажирских перевозок используется набор следующих показателей:

1. Точка безубыточности ( $Q_0$ )

$$Q_0 = \frac{K - D}{Y - X} = \frac{K - D}{Z}, \quad (2.11)$$

где  $K$  – постоянные затраты,  $X$  – переменные затраты на единицу пассажирооборота,  $Y$  – цена единицы пассажирооборота,  $D$  – размер дотации и  $Z = Y - X$  – вложенный доход на единицу продукции.

Для детерминированного случая точка безубыточности представляет собой величину пассажирооборота при нулевой прибыли.

Точка безубыточности показывает минимальный размер пассажирооборота, при котором расходы будут компенсированы доходами, а при по-

следующем увеличении объема пассажирооборота на единицу предприятие начнет получать прибыль [95, 127].

При имитационном моделировании формируются гистограммы относительных частот, определяются точечные и интервальные оценки математического ожидания (2.8) и оценки среднеквадратического отклонения для точки безубыточности и вложенного дохода на единицу продукции.

### 2. Вложенный доход ( $CM$ ) и операционная прибыль ( $OP$ )

$$CM = (Y - X) \cdot Q + D, \quad (2.12)$$

$$OP = CM - K, \quad (2.13)$$

где  $Q$  – объем перевозки пассажиров в натуральных единицах (пассажирооборот).

Вложенный доход показывает превышение доходов над всеми переменными издержками при заданном объеме пассажирооборота, а операционная прибыль представляет собой остаток при вычитании из полученной прибыли операционных расходов (ренты, амортизации и т.д.) [122].

При имитационном моделировании для вложенного дохода и операционной прибыли формируются гистограммы относительных частот, определяются точечные и интервальные оценки математического ожидания, оценки среднеквадратического отклонения и точечная оценка коэффициента корреляции между  $CM$  и  $OP$ . Оценка коэффициента корреляции ( $OKK$ ) определяется следующим образом:

$$OKK = \frac{(A - OCM \cdot OOP)}{OSKO_{CM} \cdot OSKO_{OP}}, \quad A = \frac{\sum cm_i \cdot op_i}{n}, \quad (2.14)$$

где  $OCM$  и  $OOP$  – оценки математических ожиданий величин  $CM$  и  $OP$ ,  $OSKO_{CM}$  и  $OSKO_{OP}$  – оценки среднеквадратических отклонений величин  $CM$  и  $OP$ ,  $cm_i$  и  $op_i$  – выборочные значения;  $n$  – объем выборки.

### 3. Операционный рычаг ( $OR$ )

$$OR = \frac{MCM}{MOP}, \quad (2.15)$$

где  $MCM$  и  $MOP$  – математические ожидания величин  $CM$  и  $OP$ .

Операционный рычаг показывает во сколько раз увеличиться прибыль при увеличении объема пассажирооборота [11]. Для варианта перевозки пассажиров с высоким значением операционного рычага падение объема пассажирооборота ниже точки безубыточности сопряжено с большими убытками, а достижение уровня безубыточности вознаграждается прибылью, быстро растущей с увеличением пассажирооборота. Для варианта перевозок с низким значением операционного рычага ситуация сопряжена с меньшим риском, но также и меньшим вознаграждением в форме прибыли.

При имитационном моделировании для операционного рычага определяется точечная ( $OOR$ ) и интервальная ( $OR_1, OR_2$ ) оценка математического ожидания [49]:

$$OR_1 = OOR - B; OR_2 = OOR + B;$$

$$B = \frac{z_\ell (\sum (cm_i - OOR \cdot op_i)^2)^{\frac{1}{2}}}{n \cdot OOR}, \quad (2.16)$$

где  $z_\ell$  – квантиль нормированного нормального закона для доверительной вероятности  $\ell$ , при  $\ell=0,95$   $z_\ell=1,96$ .

#### 4. Запас безопасности ( $ZBN, ZBY, ZB$ )

$$ZBN = \frac{(Q - Q_0)}{Q}, \quad (2.17)$$

$$ZBY = (Q - Q_0) \cdot Y, \quad (2.18)$$

$$ZB(\%) = 100 \cdot \frac{(MQ - MQ_0)}{MQ}, \quad (2.19)$$

где  $ZBN$  – запас безопасности при измерении пассажирооборота в натуральных единицах,  $ZBY$  – запас безопасности при измерении пассажирооборота в стоимостном исчислении,  $ZB(\%)$  – запас безопасности в процентах,  $MQ$  и  $MQ_0$  – математические ожидания пассажирооборота и точки безубыточности.

Запас безопасности является важной характеристикой эффективности варианта пассажирских перевозок. Чем выше значение этого показателя, тем

менее чувствителен вид деятельности к угрозе негативных изменений (уменьшении выручки или увеличении издержек) [124].

При имитационном моделировании для запаса безопасности  $ZBN$  и  $ZBY$  определяются точечные и интервальные оценки математического ожидания, оценки среднеквадратического отклонения и формируется гистограмма относительных частот. Для запаса безопасности  $ZB(\%)$  определяется только точечная оценка математического ожидания.

#### 5. Риск по показателю вложенного дохода ( $RCM$ )

Риск по показателю вложенного дохода представляет собой вероятность события

$$RCM = P(CM < CM_3), \quad (2.20)$$

где  $CM_3$  – заданное значение вложенного дохода.

Риск по показателю вложенного дохода показывает вероятность того, что полученный вложенный доход будет меньше заданного значения. Чем меньше значение данного показателя, тем больше вероятность того, что будет достигнут заданный уровень вложенного дохода.

При имитационном моделировании для риска по показателю вложенного дохода определяется точечная и интервальная оценки, а также оценка среднеквадратического отклонения.

#### 6. Риск по показателю запаса безопасности ( $RZBN, RZBY$ )

Риск по показателю запаса безопасности при измерении пассажирооборота в натуральных единицах представляет собой вероятность события

$$RZBN = P(ZBN < ZBN_3), \quad (2.21)$$

где  $ZBN_3$  – заданное значение запаса безопасности при измерении пассажирооборота в натуральных единицах.

Риск по показателю запаса безопасности при измерении пассажирооборота в стоимостном исчислении представляет собой вероятность события

$$RZBY = P(ZBY < ZBY_3), \quad (2.22)$$

где  $ZBY_3$  – заданное значение запаса безопасности при измерении пассажирооборота в стоимостном исчислении.

Риск по показателю запаса безопасности показывает вероятность того, что достигнутое значение запаса безопасности будет меньше заданного. Чем меньше значение данного показателя, тем больше вероятность того, что будет достигнут заданный уровень запаса безопасности.

При имитационном моделировании для риска по показателю запаса безопасности определяется точечная и интервальная оценки, а также оценка среднеквадратического отклонения.

### 7. Операционный риск

Рассчитываемый операционный риск состоит из трех показателей:

$s_{op}$  – среднеквадратическое отклонение операционной прибыли;

$v_{op}$  – коэффициент вариации операционной прибыли в процентах

$$v_{op} = 100 \cdot \frac{s_{op}}{MOP} ; \quad (2.23)$$

и  $ROP$  – операционный риск, как вероятность события

$$ROP = P(OP < OP_3) , \quad (2.24)$$

где  $MOP$  – математическое ожидание операционной прибыли  $OP$ ,  $OP_3$  – заданное значение операционной прибыли.

Операционный риск показывает вероятность того, что полученная операционная прибыль будет меньше заданного значения. Чем меньше значение операционного риска, тем больше вероятность того, что в процессе деятельности будет получен заданный уровень операционной прибыли.

При имитационном моделировании для среднеквадратического отклонения определяется точечная оценка, также как и для коэффициента вариации. Для операционного риска определяются точечная и интервальная оценки, а также формируются две зависимости:

- $ROP$  при заданном объеме пассажирооборота  $Q$ ;
- $R(Q)$  при заданном значении операционной прибыли  $OP_3$ .

8. Срок окупаемости инвестиций в годах ( $TO$ )

$$TO = \frac{MIn}{MOP} , \quad (2.25)$$

где  $MIn$  – математическое ожидание инвестиций  $In$ .

При имитационном моделировании для срока окупаемости  $TO$  определяется точечная и интервальная оценки математического ожидания, а также оценка среднеквадратического отклонения. Интервальная оценка математического ожидания для срока окупаемости определяется так же, как и для операционного рычага (2.16).

9. Рентабельность инвестиций в процентах ( $ROI$ )

$$ROI = 100 \cdot \frac{OP}{In} . \quad (2.26)$$

Показатель рентабельности инвестиций характеризует доходность инвестиционных вложений. Этот показатель является одним из наиболее важных индикаторов конкурентоспособности и инвестиционной привлекательности. Многие котируемые компании считают приемлемой рентабельность инвестиций минимум в 20%, рассчитанную на базе прибыли до уплаты процентов и налогов.

При имитационном моделировании для показателя рентабельности инвестиций определяются точечная и интервальная оценки математического ожидания, оценка среднеквадратического отклонения, а также формируется гистограмма относительных частот.

10. Риск по показателю рентабельности инвестиций ( $RROI$ )

Риск по показателю рентабельности инвестиций представляет собой вероятность события

$$RROI = P(ROI < ROI_3) , \quad (2.27)$$

где  $ROI_3$  – заданное значение показателя рентабельности инвестиций.

Риск по показателю рентабельности инвестиций показывает вероятность того, что полученное значение показателя рентабельности инвестиций будет меньше заданного. Чем меньше значение риска по показателю рента-

бельности инвестиций, тем больше вероятность того, что в процессе деятельности будет получен заданный уровень рентабельности инвестиций.

При имитационном моделировании для риска по показателю рентабельности инвестиций определяются точечная и интервальная оценки математического ожидания, а также вычисляется зависимость  $RROI$  при заданном объеме пассажирооборота  $Q$ .

### 2.2.2. Моделирование случайных величин

Каждое исходное данное в модуле имитационного моделирования [54] может быть описано либо как детерминированная величина, в этом случае она задается числом, либо как случайная величина. В этом случае оно описывается законом распределения вероятностей и значениями математического ожидания и среднеквадратического отклонения.

В качестве закона распределения вероятностей исходного данного  $d$  (2.2) может быть выбран один из шести возможных:

- 1) нормальный закон ( $N$ );
- 2) усеченный нормальный закон ( $UN$ ) на интервале  $(0, \infty)$ ;
- 3) бета-распределение ( $B$ ) на интервале  $(a, b)$ ;
- 4) гамма-распределение ( $G$ );
- 5) логарифмически-нормальное распределение ( $LN$ );
- 6) распределение Бирнбаума-Саундерса ( $BS$ ).

Для каждого закона распределения вероятностей подобраны алгоритмы моделирования случайных величин [55].

Например, запись вида  $Y \rightarrow N(m_y, \sigma_y)$  означает, что величина  $Y$  распределена по нормальному закону с математическим ожиданием  $m_y$  и среднеквадратическим отклонением  $\sigma_y$ .

Большая часть отобранных законов распределения являются популярными и достаточно подробно описаны в литературе. Исключением является распределение Бирнбаума-Саундерса, которое распространено в теории

надежности [5]. В данной работе предлагается использовать это распределение для моделирования пассажирооборота. Применение данного подхода обосновано в работе [34] и связано с предположением о том, что на число пассажиров влияет множество различных факторов (модель накопления), а пассажирооборот это модель, где аналогом времени является расстояние перевозки пассажиров.

Бета-распределение отобрано в связи с наличием у него двух параметров формы, что обеспечивает большую гибкость. Также, из всех отобранных законов распределения, это единственный закон, определенный на конечном интервале  $(a, b)$ , что имеет большое значение для практического использования.

Для остальных законов распределения вероятностей значение случайной величины находится в интервале  $(0, \infty)$ .

Для удобства использования, в модуле имитационного моделирования при задании параметров моделирования исходных данных указывается закон распределения вероятностей и значение числовых характеристик для него (математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение). Однако алгоритм моделирования случайной величины зависит от значения параметров закона распределение за исключением нормального закона. Преобразование значений указанных числовых характеристик в значение параметров, в зависимости от закона распределения вероятностей, выполняется в блоке «Вычисление параметров». Алгоритм данного преобразования будет указан при описании алгоритма моделирования случайной величины для каждого закона распределения.

Прежде чем приступить к описанию алгоритмов моделирования случайных величин для каждого из отобранных шести законов [50, 88], введем следующие обозначения:  $f(x)$  – плотность распределения вероятностей,  $r$  – значение псевдослучайной величины равномерно распределенной на интервале от 0 до 1,  $\bar{x}$  – математическое ожидание,  $D_x$  – дисперсия,  $\sigma_x$  – среднеквадратическое отклонение.

Моделирование случайных величин с заданным законом распределения вероятностей реализовано в блоке «Вычисление случайных величин». Данный блок используется в работе модуля имитационного моделирования, поскольку работа модуля моделирования основана на получении посредством ЭВМ последовательности выборочных значений случайной величины с заданным законом распределения вероятностей.

При заданной функции распределения вероятностей  $F(x)$  алгоритм моделирования случайной величины определяется уравнением:

$$F(x) = r, \quad r \rightarrow R(0, 1). \quad (2.28)$$

Где записью  $r \rightarrow R(0, 1)$  обозначено, что  $r$  – независимое значение псевдослучайной величины равномерно распределенной на интервале  $(0, 1)$ .

Не смотря на то, что функции получения псевдослучайной величины имеются, по умолчанию, во всех средах программирования, в разработанной моделирующей программе генерирование данных величин происходит на основе алгоритма «Вихрь Мерсенна». Данный алгоритм был разработан в 1997 году японскими учеными Макото Мацумото и Такудзи Нисимура и основывается на свойствах простых чисел Мерсенна (число вида  $M_n = 2^n - 1$ , где  $n$  – натуральное число) [126], обеспечивая быструю генерацию высококачественных псевдослучайных чисел [125]. «Вихрь Мерсенна» лишен многих недостатков присущих другим генераторам псевдослучайных чисел, таких как малый период, предсказуемость и легко выявляемая статистическая зависимость.

Если вместо функции распределения задана плотность распределения вероятностей  $f(x)$ ,  $a < x < b$ , то предварительно необходимо найти функцию распределения

$$F(x) = \int_a^x f(u) du. \quad (2.29)$$

а затем решить уравнение (2.28).

Выполним описание алгоритмов моделирования случайных величин для каждого закона распределения.

*Нормальный закон  $N(\bar{x}, \sigma)$*

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(\frac{-(x - \bar{x})^2}{2\sigma}\right). \quad (2.30)$$

Алгоритм моделирования случайной величины:

$$x = \bar{x} + \sigma \cdot z, \quad (2.31)$$

где  $z$  – значение нормированной нормально распределенной величины.

В модуле имитационного моделирования реализовано два алгоритма моделирования величины  $z$ , выбор которого осуществляется пользователем при задании параметров моделирования величины:

1. Метод, основанный на использовании центральной предельной теоремы

$$z = \sum_{i=1}^{12} r_i - 6. \quad (2.32)$$

2. Обратный метод Бокса и Малера

$$z = \sqrt{-2 \ln(r_1)} \cdot \cos(2\pi \cdot r_2). \quad (2.33)$$

*Гамма-распределение  $G(\alpha, \beta)$*

$$f(x) = \frac{\beta \cdot (\beta \cdot x)^{\alpha-1} \cdot e^{-\beta x}}{\Gamma(\alpha)}, \quad x > 0, \alpha, \beta > 0, \quad (2.34)$$

где  $\Gamma(\cdot)$  – гамма-функция.

Числовые характеристики определяются как:

$$\bar{x} = \frac{\alpha}{\beta}; \quad D_x = \frac{\alpha}{\beta^2}. \quad (2.35)$$

Значения параметров определяются через решение системы уравнений  
(2.35)

$$\alpha = \frac{\bar{x}^2}{D_x}; \beta = \frac{\bar{x}}{D_x}. \quad (2.36)$$

В зависимости от значения параметра  $\alpha$  выбирается один из трех вариантов моделирования случайной величины:

1. Если  $0 < \alpha < 1$

$$a = r_1^{\frac{1}{\alpha}}; b = r_2^{\frac{1}{1-\alpha}}; c = a + b.$$

Если полученное значение  $c \leq 1$ , тогда  $d = \frac{a}{c}$ .

$$x = \frac{-d \cdot \ln(r_3)}{\beta}. \quad (2.37)$$

Если полученное значение  $c > 1$ , тогда заново моделируются величины  $r_1$  и  $r_2$ .

2. Если  $1 \leq \alpha < 5$

$$a = [\alpha]; b = \alpha - a; c = -\frac{\alpha}{a} \ln \prod_{i=1}^a r_i,$$

где  $[\alpha]$  – целая часть  $\alpha$ .

Если  $r_{a+1} > \left(\frac{c}{\alpha}\right)^b \exp\left(b \cdot \left(\frac{c}{\alpha} - 1\right)\right)$ , то выполняется перерасчет величины  $c$ , иначе:

личины  $c$ , иначе:

$$x = \frac{c}{\beta}. \quad (2.38)$$

3. Если  $\alpha \geq 5$

$$b = \alpha - a, \text{ где } a = [\alpha].$$

Если  $r_1 \geq b$ , то

$$x = -\ln \prod_{i=1}^a \frac{r_i}{\beta}. \quad (2.39)$$

Иначе

$$x = -\ln \prod_{i=1}^{a+1} \frac{r_i}{\beta}. \quad (2.40)$$

При  $\alpha = 1, 2, 3, \dots, n$  (целое) гамма-распределение называется распределением Эрланга  $\alpha$ -го порядка для которого  $\alpha$  – число слагаемых независимых случайных величин, имеющих показательное распределение с параметром  $\beta$ .

Для распределения Эрланга алгоритм моделирования выглядит следующим образом:

$$x = \frac{-\ln \left[ \prod_{i=1}^a r_i \right]}{\beta}. \quad (2.41)$$

При  $\alpha = 1$  гамма-распределение является еще и показательным с параметром  $\beta$ . Алгоритм моделирования в этом случае выглядит следующим образом:

$$x = \frac{-\ln(r)}{\beta}. \quad (2.42)$$

*Бета-распределение  $B(\alpha, \beta)$  на интервале  $(a, b)$*

$$f(y) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{(b-a) \cdot \Gamma(\alpha) \cdot \Gamma(\beta)} \cdot \left( \frac{y-a}{b-a} \right)^{\alpha-1} \cdot \left( \frac{b-y}{b-a} \right)^{\beta-1}. \quad (2.43)$$

Математическое ожидание и дисперсия определяются как:

$$\bar{y} = a + \frac{(b-a) \cdot \alpha}{\alpha + \beta}; \quad D_y = \frac{(b-a)^2 \cdot \alpha \cdot \beta}{(\alpha + \beta)^2 \cdot (\alpha + \beta + 1)}, \quad (2.44)$$

где  $\Gamma(\cdot)$  – гамма-функция.

Так как  $\alpha, \beta > 0$ , то

$$0 < D_x < (\bar{x} - a) \cdot (b - \bar{x}). \quad (2.45)$$

Значения параметров определяются через решение системы уравнений (2.44)

$$\alpha = \frac{m \cdot [m \cdot (1 - m) - D]}{D}; \beta = \frac{(1 - m) \cdot [m \cdot (1 - m) - D]}{D}; \quad (2.46)$$

$$m = \frac{\bar{x} - a}{b - a}; D = \frac{D_x}{(b - a)^2}. \quad (2.47)$$

При  $\alpha = \beta = 1$  бета-распределение является равномерным законом  $R(a, b)$  для которого

$$x = a + (b - a) \cdot r. \quad (2.48)$$

При моделировании случайной величины с законом  $B(\alpha, \beta)$  моделируется нормированное на интервале  $(0, 1)$  значение, которое затем преобразуется на интервал  $(a, b)$  аналогично (2.48).

Для бета-распределения на интервале  $(0, 1)$  был использован алгоритм основанный на взаимосвязи бета- и гамма-распределений

$$C = G(\alpha, 1); D = G(\beta, 1); E = C + D,$$

где  $G(\cdot)$  – гамма-распределение.

$$x = \frac{C}{E}, \quad 0 < x < 1. \quad (2.49)$$

Затем полученное значение (2.49) пересчитывается на интервал  $(a, b)$  подобно (2.48).

#### *Логарифмически-нормальное распределение $LN(\alpha, \beta), \beta > 0$*

Когда случайная величина  $Y = \ln X$  имеет нормальное распределение с математическим ожиданием  $\alpha$  и дисперсией  $\beta^2$ , случайная величина  $X$  имеет логарифмически-нормальное распределение  $LN(\alpha, \beta)$ :

$$f(x) = \left[ \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \beta \cdot x} \right] \cdot \exp \left[ -\frac{(\ln x - \alpha)^2}{2\beta^2} \right], \quad x > 0. \quad (2.50)$$

Математическое ожидание и дисперсия определяются как:

$$\bar{x} = \exp\left(\alpha + \frac{\beta^2}{2}\right); D_x = \exp(2\alpha + \beta^2) \cdot [\exp(\beta^2) - 1]. \quad (2.51)$$

Откуда значения параметров равны

$$\alpha = \ln \bar{x} - \frac{\beta^2}{2}; \beta = \sqrt{\ln\left(1 + \frac{D_x}{\bar{x}^2}\right)}. \quad (2.52)$$

Алгоритм моделирования случайной величины:

$$x = e^y, y \rightarrow N(\alpha, \beta). \quad (2.53)$$

*Распределение Бирнбаума-Саундерса BS( $\alpha, \beta$ )*

$$f(x) = \frac{\beta \cdot x + \alpha}{2\sqrt{2\pi x^3}} \cdot \exp\left[-\frac{(\alpha - \beta \cdot x)^2}{2x}\right], x > 0, \alpha, \beta > 0. \quad (2.54)$$

Математическое ожидание и дисперсия определяются как:

$$\bar{x} = \frac{\alpha}{\beta} + \frac{1}{2\beta^2}; D_x = \frac{\alpha}{\beta^3} + \frac{5}{4\beta^4}. \quad (2.55)$$

Откуда значения параметров равны

$$\beta = \left(\frac{\bar{x} + (\bar{x}^2 + 3D_x)^{\frac{1}{2}}}{2D_x}\right)^{\frac{1}{2}}; \alpha = \beta \cdot \bar{x} - \frac{0,5}{\beta}. \quad (2.56)$$

Алгоритм моделирования случайной величины:

$$x = \frac{\alpha}{\beta} + \frac{1}{2}\left(\frac{z}{\beta}\right)^2 + \frac{z}{\beta} \sqrt{\frac{\alpha}{\beta} + \frac{1}{4}\left(\frac{z^2}{\beta}\right)}, Z \rightarrow N(0, 1). \quad (2.57)$$

При моделировании нормированного нормального распределения  $Z \rightarrow N(0, 1)$  используется в зависимости от выбора пользователя осуществляющего моделирование алгоритм (2.32) или (2.33).

Усеченное нормальное распределение  $UN(\alpha, \beta)$ ,  $x > 0, \beta > 0$

$$f(x) = \frac{k}{\sqrt{2\pi\beta}} \exp\left[-\frac{(x-\alpha)^2}{2\beta^2}\right], \quad x > 0, \quad (2.58)$$

где  $k$  – коэффициент нормировки

$$k = \left[1 - \Phi\left(-\frac{\alpha}{\beta}\right)\right]^{-1},$$

где  $\Phi(\cdot)$  – интеграл вероятности (функция Лапласа)

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt. \quad (2.59)$$

Математическое ожидание и дисперсия определяются как:

$$\begin{cases} \bar{x} = \alpha + \frac{k\beta}{\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{\alpha^2}{2\beta^2}\right); \\ D_x = \beta^2 - \frac{k\beta}{\sqrt{2\pi}} \cdot \left[\alpha + \frac{k\beta}{\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{\alpha^2}{2\beta^2}\right)\right] \exp\left(-\frac{\alpha^2}{2\beta^2}\right). \end{cases} \quad (2.60)$$

При моделировании случайной величины применяется следующий алгоритм:

1. Моделируется значение случайной величины с нормальным законом распределения вероятностей (используется алгоритм моделирования нормированного нормального распределения (2.32) или (2.33));

2. Если полученное значение положительное, оно попадает в выборку, в противном случае повторяется его моделирование согласно п.1.

При вычислении значения функции (2.59) применяется аппроксимация

$$\Phi(x) = 1 - \varphi(x) \cdot (a_1 b + a_2 b^2 + a_3 b^3 + a_4 b^4 + a_5 b^5), \quad (2.61)$$

где  $\varphi(x) = \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \cdot \sqrt{2\pi}$ ;  $b = \frac{1}{1 + B_x}$ ;  $B = 0,2316419$ ,  $a_1 =$

$0,31938153$ ,  $a_2 = -0,35656378$ ,  $a_3 = 1,7814779$ ,  $a_4 = -1,8211256$ ,  $a_5 = 1,3302744$ .

*Особенности вычисления параметров усеченного нормального распределения*

Для усеченного нормального распределения определение параметров затруднено. Для этого использовался следующий алгоритм [51].

Математическое ожидание и дисперсия для усеченного нормального закона  $UN(\alpha, \beta)$  определяются по формуле (2.60).

При  $\alpha = 0$  константа усечения  $k(0, \beta) = 2$ .

При решении системы уравнений (2.60) возникает проблема изоляции корня  $(\alpha_0, \beta_0)$ , так как изначально известно лишь то, что  $-\infty < \alpha_0 < +\infty$ , а  $\beta_0 > 0$ . Поэтому выполним теоретическое исследование поиска метода изоляции корня. Выполним преобразование уравнения (2.60) относительно математического ожидания, заменив при этом в описании переменную  $x$  переменной  $t$ .

$$A(\alpha, \beta) = \alpha + \frac{k\beta}{\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{\alpha^2}{2\beta^2}\right) - \bar{t} = 0; \quad (2.62)$$

$$A(0, \beta_{0m}) = \frac{2\beta_{0m}}{\sqrt{2\pi}} - \bar{t}.$$

Откуда

$$\beta_{0m} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \bar{t}. \quad (2.63)$$

Аналогично выполним преобразование уравнения (2.60) относительно дисперсии

$$B(\alpha, \beta) = \beta^2 - \frac{k\beta}{\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{\alpha^2}{2\beta^2}\right) \cdot \bar{t} - D = 0, \quad (2.64)$$

$$B(0, \beta_{0d}) = \left(1 - \frac{2}{\pi}\right) \cdot \beta_{0d}^2 - D.$$

Откуда

$$\beta_{0d} = \frac{\sqrt{\pi \cdot D}}{\sqrt{\pi - 2}}. \quad (2.65)$$

На рисунке 2.2 показаны две зависимости: 1) – (2.62) ; 2) – (2.64).

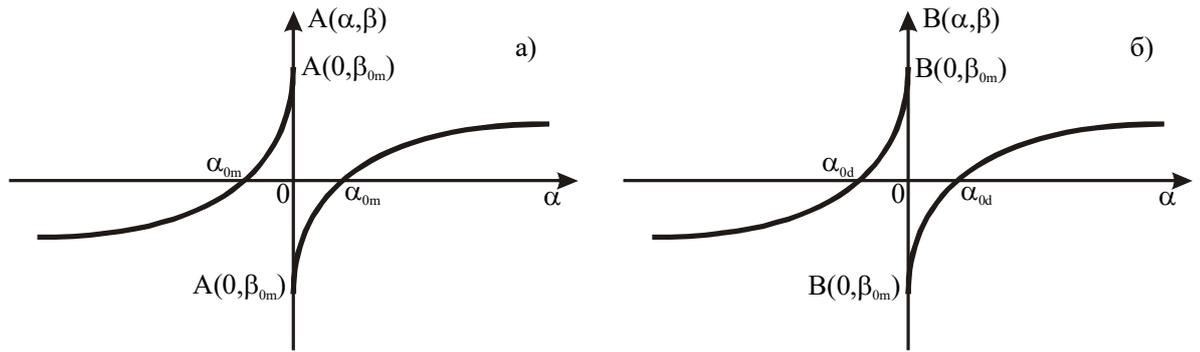


Рис. 2.2. Зависимости  $A(\alpha, \beta)$  и  $B(\alpha, \beta)$

На рисунке 2.3 показана зависимость  $\alpha(\beta)$ .

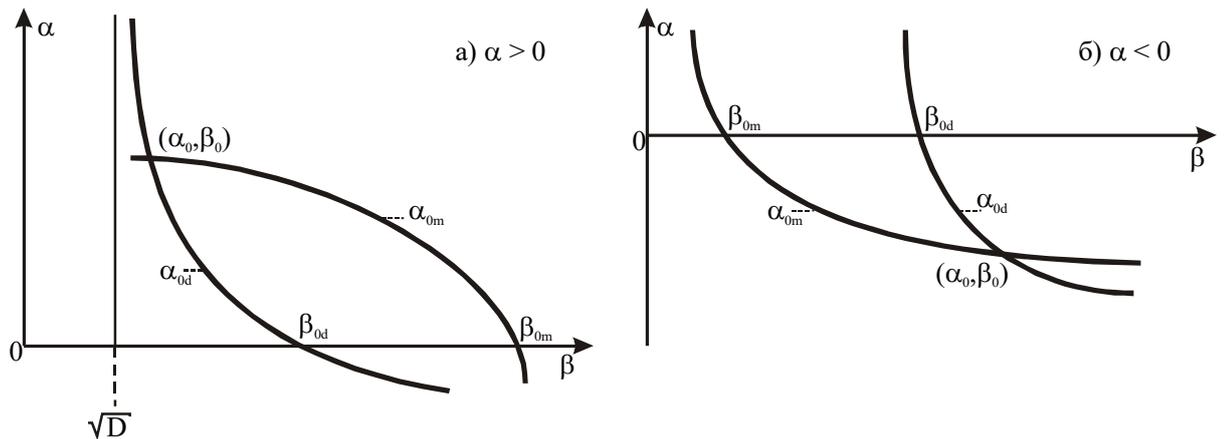


Рис. 2.3. Зависимость  $\alpha(\beta)$

Если  $\beta_{0m} = \beta_{0d}$ , то искомый корень  $\alpha_0 = 0$  и  $\beta_0 = \beta_{0m} = \beta_{0d}$ .

Если  $\beta_{0d} < \beta_{0m}$ , то  $\alpha_0 > 0$  и  $\sqrt{D} < \beta_0 < \beta_{0d}$ .

Если  $\beta_{0d} > \beta_{0m}$ , то  $\alpha_0 < 0$  и  $\beta_0 > \beta_{0d}$ .

На основе проведенных исследований был разработан следующий алгоритм определения параметров  $(\alpha_0, \beta_0)$  на основе заданных числовых характеристик  $\bar{t}$  и  $D$ .

1. Согласно формулам (2.63) и (2.65) вычисляются  $\beta_{0m}$  и  $\beta_{0d}$ .

2. Если  $|\beta_{0m} - \beta_{0d}| < \varepsilon_1$ , то  $\alpha_0 = 0$ ,  $\beta_0 = \frac{\beta_{0m} + \beta_{0d}}{2}$ , где  $\varepsilon_1$  - заданная точность сравнения  $\beta_{0m}$  и  $\beta_{0d}$ .

3. Если  $\beta_{0d} < \beta_{0m}$  ( $\alpha_0 > 0$ ), тогда значение корня  $\beta_0$  уточняется методом половинного деления.

$$3.1. \beta_1 = \sqrt{D}, \beta_2 = \beta_{0d}.$$

$$3.2. \beta_0 = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}.$$

3.3. Находим решение уравнения (2.62) при  $\beta = \beta_0$ ,  $\alpha_0 > 0$  (решение  $\alpha_{0m}$ ).

3.4. Находим решение уравнения (2.64) при  $\beta = \beta_0$ ,  $\alpha_0 > 0$  (решение  $\alpha_{0d}$ ).

3.5. Если  $\alpha_{0d} < \alpha_{0m}$ , то  $\beta_2 = \beta_0$ , в противном случае  $\beta_1 = \beta_0$ . Далее выполняется переход на этап (3.2) пока не выполнится условие  $|\alpha_{0d} - \alpha_{0m}| < \varepsilon_2$ , где  $\varepsilon_2$  - заданная точность сравнения  $\alpha_{0m}$  и  $\alpha_{0d}$ . После чего  $\alpha_0 = \frac{\alpha_{0m} + \alpha_{0d}}{2}$ . Для изоляции корней  $\alpha_{0m}$  и  $\alpha_{0d}$  рекомендуется использовать шаг пропорциональности  $\bar{t}$ .

4. Если  $\beta_{0d} > \beta_{0m}$  ( $\alpha_0 < 0$ ), то изолируется корень  $\beta_0$  с шагом, пропорциональным  $\sqrt{D}$ .

$$4.1. \beta_0 = \beta_{0d}.$$

$$4.2. \beta_0 = \beta_0 + a \cdot \sqrt{D}, \text{ где } a - \text{коэффициент пропорциональности.}$$

4.3. Находим решение уравнения (2.62) при  $\beta = \beta_0$ ,  $\alpha_0 < 0$  (решение  $\alpha_{0m}$ ).

4.4. Находим решение уравнения (2.64) при  $\beta = \beta_0$ ,  $\alpha_0 < 0$  (решение  $\alpha_{0d}$ ).

4.5. Если  $|\alpha_{0d}| < |\alpha_{0m}|$ , то выполняется переход на этап (4.2). В противном случае, при  $|\alpha_{0d}| > |\alpha_{0m}|$  вычисляем  $\beta_0 = \beta_0 - \frac{a}{2} \cdot \sqrt{D}$ .

*Дополнения:*

1. Система (2.60) не во всех случаях имеет решение. Если  $\left| \frac{\alpha}{\beta} \right| > \ln$  (рекомендуемое значение  $\ln = 3$ ), то решения не существует (данное условие необходимо проверять при выполнении пунктов (4.3) и (4.4.)). Отсутствие решения означает, что усеченное нормальное распределение не рекомендуется в качестве модели для исследования.

2. Если  $\frac{\alpha}{\beta} > lw$  (рекомендуемое значение  $lw = 4$ ) находить решение системы нет необходимости, так как с высокой точностью  $\alpha_0 = \bar{t}$ ,  $\beta_0 = \sqrt{D}$  (данное условие необходимо проверять при выполнении пунктов (3.3) и (3.4)).

### 2.2.3. Обоснование объема выборки

В силу того, что значения показателей эффективности получаются методом Монте-Карло, определяются не сами значения  $i$ -го показателя для  $j$ -го варианта, а их оценки, которые являются случайными величинами. Поэтому не совсем корректно по значениям оценок показателей в дальнейшем выбирать наилучший вариант. Перед этим необходимо обосновать объемы выборок, при которых можно корректно выполнить сравнение вариантов.

Для проверки достаточности объема выборки был реализован блок «Обоснование объема выборки». Обоснование достаточности объема выборки в данном блоке основано на одном из методов множественного ранжирования – методе Бехгофера и Блюменталя (ББ) [50].

Методы множественного ранжирования предполагают независимость наблюдений как внутри выборок, так и между ними. Дополнительно предполагается, что выборки получены из нормальных генеральных совокупностей. В методе ББ дополнительно предполагается и равенство дисперсий совокуп-

ностей. Данную гипотезу можно проверить, например, используя критерий Кохрена. Метод ББ достаточно робастный, поэтому его использование рекомендуется даже тогда, когда нарушены предположения о нормальности генеральных совокупностей.

Обозначим за  $A_i$  имеющиеся альтернативы. Через  $m_i$  – описанные совокупностями  $X_i$  генеральные средние альтернатив  $A_i$ . Через  $\tilde{y}_i$  – полученные в результате имитационного моделирования оценки для  $m_i$ , где  $i = 1, 2, \dots, k$ . Изначально считается, что гипотеза об однородности дисперсий верна:

$$H_0 : D[X_1] = D[X_2] = \dots = D[X_k]. \quad (2.66)$$

Данная гипотеза проверяется по критерию Кохрена [27, 36].  $D[X_i]$  в формуле [2.76] является дисперсией совокупностей  $X_i$ . Введем следующее обозначение

$$m_d = \max_i m_i. \quad (2.67)$$

Выбрать наилучший вариант по методу ББ означает определить номер  $d$  с вероятностью  $p_0$  при заданном отклонении  $\delta_0$ , то есть обеспечить вероятность правильного выбора ( $\Pi_\epsilon$ )

$$P\left[\frac{\Pi_\epsilon}{b} \geq \delta_0\right] \geq p_0, \quad (2.68)$$

где  $p_0$  – заданная вероятность правильного выбора,  $b$  – разность между наилучшим вариантом и следующим за ним.

Далее вычисляется статистика специального вида  $Z_n$

$$Z_n = \sum_{j=1}^{J-1} L_{jn}; \quad (2.69)$$

$$L_{jn} = \left[ \frac{H_n - 2\delta_0 \cdot n \cdot \tilde{x}_j^0}{H_n - 2\delta_0 \cdot n \cdot \tilde{x}_j^0} \right]^m; \quad (2.70)$$

$$m = \frac{J \cdot (n - 1) + J - 1}{2},$$

где  $n$  – объем выборки,  $J$  – количество вариантов перевозок,  $\tilde{x}_j^0$  – ранжированные значения  $\tilde{x}_j$ ,  $\tilde{x}_J^0$  – максимальное значение.

$$H_n = (n - 1) \cdot \sum_{j=1}^J s_j^2 + m_0 \cdot \left( \sum_{j=1}^J \tilde{x}_j^2 + \delta_0^2 \right) + \frac{2n}{J} \cdot \delta_0 \cdot \sum_{j=1}^J \tilde{x}_j; \quad (2.71)$$

$$m_0 = \frac{(J - 1) \cdot n}{J},$$

где  $\tilde{x}_j$ ,  $s_j^2$  – оценки числовых характеристик показателя эффективности (математического ожидания и дисперсии).

$$\delta_0 = 0,15 \cdot s, \quad (2.72)$$

где  $s$  – усредненная оценка среднеквадратического отклонения наилучшего и следующим за ним вариантом

$$s = \sqrt{\frac{s_J^2 + s_{J-1}^2}{2}}.$$

После вычисления статистики  $Z_n$  проверяется условие

$$Z_n \leq \frac{1 - p_0}{p_0}. \quad (2.73)$$

Статистика  $Z_n$  вычисляется для каждого показателя эффективности. Если условие (2.73) выполняется для каждого показателя, значит объем выборки  $n$  достаточен для выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок по значениям показателей эффективности. Если условие (2.73) не выполняется хотя бы для одного из показателей, объем выборки  $n$  следует увеличить, повторно выполнить расчет значений показателей эффективности и заново проверить достаточность этого объема.

Следует отметить, что показатели риска входящие в состав рассчитываемых показателей эффективности минимизируются (лучшим считается минимальное значение показателя), в результате чего их необходимо линей-

но преобразовать:  $\tilde{x}_j^* = 1 - \tilde{x}_j$ . Оценки математического ожидания в формуле (2.71) относятся к преобразованным показателям.

Исходя из способа определения величины  $m$  согласно формуле (2.70) видно, что при достаточно больших значениях величины  $n$  значение величины  $m$  так же будет большим. Для ускорения и упрощения вычисления величины  $L_{jn}$ , которая согласно формуле (2.70) определяется путем возведения расчетного значения в степень  $m$ , был использован аппарат численных методов.

Величину  $L_{jn}$  можно представить в следующем виде

$$L_{jn} = (L_{jn}^0)^m, \quad (2.74)$$

$$L_{jn}^0 = \frac{H_n - 2\delta_0 \cdot n \cdot \tilde{x}_j^0}{H_n - 2\delta_0 \cdot n \cdot \tilde{x}_j^0}.$$

Поскольку  $\tilde{x}_j^0$  представляет собой ранжированные в порядке убывания значения  $\tilde{x}_j$ , а величина  $\tilde{x}_j^0$  является максимальным значением, величина  $L_{jn}^0$  всегда будет иметь значение меньше 1 и поэтому может быть представлена в виде

$$L_{jn}^0 = 1 - \Delta_{jn}. \quad (2.75)$$

Для возведения величины  $L_{jn}^0$  в степень  $m$  используется следующее преобразование [106]

$$(L_{jn}^0)^m = e^{m \cdot \ln L_{jn}^0}. \quad (2.76)$$

Тогда согласно (2.74), (2.75) и (2.76)

$$L_{jn} = e^{m \cdot \ln(1 - \Delta_{jn})} \approx e^{-m \cdot \Delta_{jn}}. \quad (2.77)$$

### 2.3. Проверка значимости показателей риска

Поскольку деятельность предприятия выполняющего перевозку пассажиров осуществляется в условиях неопределенности внешней среды, которая включает в себя объективные экономические, социальные и политические условия, в рамках которых организация ведет свою деятельность и к динамике которых она вынуждена приспосабливаться, приобретает особое значение такое понятие как предпринимательский риск [7]. Многие решения в предпринимательской деятельности связаны с выбором ее направления из нескольких возможных вариантов и принимаются в условиях неопределенности, что обуславливает необходимость анализа рисков. Кроме этого риск является базовым свойством экономики свободного предпринимательства, а, как известно, одной из целей проводимой на железной дороге реформы является переход от монопольной модели ведения бизнеса к рыночной [15].

Риск – это, с одной стороны, мера возможных потерь организацией части ресурсов, возникновения убытков, появления дополнительных расходов и недополучения доходов по сравнению с прогнозируемым вариантом, а с другой – действие, выполняемое в условиях выбора, в надежде на счастливый исход (получение прибыли) [12].

В условиях рыночной экономики риск – ключевой элемент предпринимательства. Организация, умеющая обоснованно рисковать, оказывается вознагражденной. Проблема учета экономического риска при рыночных отношениях приобретает значимость как составная часть теории и практики управления, в связи с тем что большинство управленческих решений связано с неуверенностью в получении ожидаемого результата, возможностью как выигрыша, так и дополнительных затрат, потерь.

В связи с этим, из рассчитываемых модулем имитационного моделирования значений показателей эффективности для дальнейшего анализа нами были отобраны показатели, отражающие риск недостижения заданных значений показателей эффективности: риск по показателю вложенного дохода

(*RCM*), риск по показателю запаса безопасности в натуральных единицах измерения (*RZBN*), риск по показателю запаса безопасности в стоимостном исчислении (*RZBY*), операционный риск (*ROP*) и риск по показателю рентабельности инвестиций (*RROI*).

Для упрощения выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок необходимо из отобранных показателей риска оставить для дальнейшего анализа только те, значения которых существенно зависят от варианта перевозок.

Решение данной задачи выполняется при помощи модуля «Проверка значимости показателей риска». Для оценки влияния вариантов пассажирских перевозок на значения показателей риска используется один из методов математической статистики, называемый дисперсионным анализом [99]. Метод реализован в блоке «Дисперсионный анализ», который используется при работе модуля.

Дисперсионный анализ (ДА) представляет собой статистический метод анализа результатов наблюдений, зависящих от различных одновременно действующих факторов, помогающий осуществить выбор наиболее важных факторов и оценить их влияние [116]. По числу факторов различают однофакторный и многофакторный дисперсионный анализ. Если уровни факторов фиксированы, то говорят о модели однофакторного ДА, а если они случайны (являются выборкой из нормальной генеральной совокупности), то это модель многофакторного ДА. Может быть и смешанная модель, когда одни уровни фиксированы, а другие случайны. Для проверки значимости показателей риска был использован однофакторный ДА.

В ДА предполагается, что все факторы являются качественными. Однако в действительности некоторые из них могут быть и количественными. Качественные факторы связаны с номинальной шкалой, когда можно только определить равны уровни между собой или нет. Показатель эффективности в ДА всегда количественный и его можно измерить.

Модель однофакторного ДА может быть представлена в виде

$$y_{jm} = \bar{y} + \alpha_j + \varepsilon_{jm} = \bar{y}_j + \varepsilon_{jm}, \quad j = 1, \dots, J; \quad m = 1, \dots, M, \quad (2.78)$$

где  $J$  – число уровней (в нашем случае число вариантов пассажирских перевозок);  $M$  – число опытов на каждом уровне (в общем случае  $M_j$ );  $\bar{y}$  – генеральная средняя;  $\alpha_j$  – эффект  $j$ -го уровня;  $\bar{y}_j = \bar{y} + \alpha_j$  – теоретическая средняя  $j$ -го уровня;  $y_{jm}$  – значение показателя эффективности на  $j$ -ом уровне в  $m$ -ом опыте;  $\varepsilon_{jm}$  – ошибка измерений.

Предпосылками ДА являются

$$\varepsilon_{jm} \rightarrow N(0, \delta), \quad \text{cov}(\varepsilon_j, \varepsilon_k) = 0, \quad j \neq k. \quad \text{Отсюда } y_{jm} \rightarrow N(\bar{y}_j, \sigma). \quad (2.79)$$

Основная гипотеза:

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_J = 0, \quad (\bar{y}_1 = \bar{y}_2 = \dots = \bar{y}_J = \bar{y}).$$

Гипотеза об однородности дисперсий:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_J^2 = \sigma^2.$$

Для проверки гипотезы об однородности дисперсий используется критерий Кокрена

$$G_p = \frac{\max_j s_j^2}{\sum_{j=1}^J s_j^2} \rightarrow G(M-1, J), \quad (2.80)$$

где  $s_j^2$  – оценки дисперсий  $\sigma_j^2$ .

Если  $G_p < G_{кр} \rightarrow G(M-1, J, \alpha)$ , то  $H_0$  – дисперсии однородны, а оценка дисперсии с числом степеней свободы  $\nu = N - J$  ( $N = J \cdot M$ ) равна

$$s^2 = \sum_{j=1}^J \frac{s_j^2}{J}. \quad (2.81)$$

Основное дисперсионное соотношение записывается в виде

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M (\tilde{y} - y_{jm})^2 = M \cdot \sum_{j=1}^J (\tilde{y} - \tilde{y}_j)^2 + \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M (\tilde{y}_j - y_{jm})^2. \quad (2.82)$$

Докажем соотношение (2.82):  $\tilde{y} - y_{jm} = (\tilde{y} - \tilde{y}_j) + (\tilde{y}_j - y_{jm})$ . Подставим правую часть данного тождества в левую часть (2.82), возведем в квадрат и просуммируем

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M (\tilde{y} - y_{jm})^2 = M \cdot \sum_{j=1}^J (\tilde{y} - \tilde{y}_j)^2 + \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M (\tilde{y}_j - y_{jm})^2 + 2 \cdot \sum_{j=1}^J (\tilde{y} - \tilde{y}_j) \cdot \sum_{m=1}^M (\tilde{y}_j - y_{jm}).$$

Третье слагаемое равно 0, так как

$$\sum_{m=1}^M (\tilde{y}_j - y_{jm}) = M \cdot \tilde{y}_j - M \cdot \tilde{y}_j = 0. \text{ Соотношение доказано (аналогично}$$

доказывается данное соотношение и при различном числе опытов).

Запишем суммы квадратов соотношения (2.82) в следующих обозначениях:  $SS = SA + SO$ , где  $SS$  – общая скорректированная сумма квадратов;  $SA$  – сумма квадратов, обусловленная фактором  $A$  (то есть различиями между уровнями фактора);  $SO$  – сумма квадратов, обусловленная ошибкой (то есть ошибками измерений показателя  $y$ ).

С этими суммами связаны степени свободы:  $N - 1 = (J - 1) + (N - J)$ . Далее вводят средние квадраты:  $MA = SA / (J - 1)$ ;  $MO = SO / (N - J)$ .

Доказано, что математическое ожидание  $M[MO] = \sigma^2$ , а для модели однофакторного ДА

$$M[MA] = \sigma^2 + M \cdot \sum_{j=1}^J \frac{\alpha_j^2}{J - 1}.$$

Тогда при выполнении гипотезы  $H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_J = 0$   $M[MA] = \sigma^2$ .

При выполнении предпосылок ДА:

$$\frac{SA}{\sigma^2} \rightarrow \chi^2(J - 1), \frac{SO}{\sigma^2} \rightarrow \chi^2(N - J), F = \frac{MA}{MO} \rightarrow F(J - 1, N - J).$$

Проводимые расчеты удобно сводить в таблицу, называемую таблицей ДА (таблица 2.1).

Таблица 2.1

Сумма квадратов	Степени свободы	Средние квадраты	F отношение
SA	J-1	MA = SA / (J-1)	F <sub>рас</sub> = MA / MO
SO	N-J	MO = SO / (N-J)	
SS	N-1		

При подсчете сумм квадратов используется следующая технология:

$$SS = \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M y_{jm}^2 - N \cdot \tilde{y}^2 ; \quad (2.83)$$

$$SA = M \cdot \sum_{j=1}^J \tilde{y}_j^2 - N \cdot \tilde{y}^2 ;$$

$$SO = SS - SA .$$

Если  $F_{\text{рас}} < F_{\text{кр}} \rightarrow F(J-1, N-J, \alpha)$ , то  $H_0$  – фактор незначим, иначе  $H_1$  – фактор значим. Здесь  $\alpha$  – уровень значимости, а не степень влияния фактора.

Применительно к решаемой задаче проверки значимости показателей риска под фактором понимается вариант пассажирских перевозок и используется следующая последовательность вычислений:

- 1) При помощи модуля имитационного моделирования проводится  $M$  опытов по каждому варианту пассажирских перевозок и получается  $M$  наборов значений показателей риска;
- 2) По каждому показателю риска на основании полученных значений проверяется гипотеза об однородности дисперсий по критерию Кокрена (2.80), (2.81);
- 3) По каждому показателю риска формируется таблица ДА (Таблица 2.1);
- 4) По каждому показателю риска выполняется проверка гипотезы о значимости фактора.

На основании выполненного анализа показателей риска отбираются те из них, значения которых существенно зависят от вариантов пассажирских перевозок.

Результатом работы модуля является набор значений значимых показателей риска по каждому варианту пассажирских перевозок  $C^*$  (2.4).

#### **2.4. Выбор наилучшего варианта пассажирских перевозок**

При принятии решения о выборе того или иного варианта пассажирских перевозок весьма существенен фактор риска, так как такой выбор, во-первых, зачастую связан с иммобилизацией финансовых ресурсов компании и, во-вторых, выбираемый вариант перевозок будет осуществляться в условиях неопределенности внешней среды, степень которой может значительно варьировать. Эти условия могут быть оценены либо статистическими методами, либо экспертными либо построением математических экономических моделей. Использование статистических методов затрудняется отсутствием статистических данных и невозможностью с помощью этих методов предсказать изменение параметров, вызванное изменением внешних условий [4]. Математические экономические модели в настоящее время еще не могут обеспечить точность, существенно превышающую точность метода экспертных оценок, однако их применение существенно дороже последнего [112]. Поэтому нередко решение о выборе варианта перевозок принимается на интуитивной основе, поскольку оказывается достаточно затруднительным предопределить экономический эффект от выбора того или иного варианта.

В отечественной и зарубежной практике известен ряд формализованных методов, позволяющих получить информацию, которая может послужить основой для принятия решений [42, 44]. Однако какого-то универсального метода, пригодного для всех случаев жизни, не существует. Тем не менее, имея некоторые оценки, полученные формализованными методами, пусть даже в известной степени условные, легче принимать решения.

В процессе анализа вариантов пассажирских перевозок очень редко возникает ситуация, когда какой-то из сравниваемых вариантов оказывается приемлемым по всем рассматриваемым показателям. В связи с этим, возник-

кает проблема приоритетности использования показателей [43]. Таким образом, задачу выбора варианта пассажирских перевозок можно отнести к многокритериальным слабоструктурированным задачам, поскольку при принятии решения требуется учитывать сложные социально-экономические условия, и альтернативные варианты оцениваются не по одному скалярному критерию, а по нескольким частным критериям. Это весьма распространенный тип задач с богатой теоретической базой [75, 83, 111], имеющий разнообразное практическое значение.

Для выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок, была использована процедура двухэтапного ранжирования. На первом этапе, в зависимости от выбранной технологии, определяется либо наиболее значимый показатель, либо интегральный показатель по каждому варианту пассажирских перевозок. На втором этапе, выбирается наиболее существенный вариант перевозок по экстремальному значению либо наиболее значимого показателя, либо интегрального показателя. Первый этап данной процедуры реализован в модуле «Вычисление интегрального показателя», а второй в модуле «Выбор наилучшего варианта».

В данной работе предлагается подход, когда на первом этапе происходит вычисление интегрального показателя по каждому варианту пассажирских перевозок, на основе значений значимых показателей риска и, характеризующих их значимость, весовых коэффициентов. А на втором этапе, выбирается наиболее существенный вариант пассажирских перевозок по экстремальному значению интегрального показателя.

Для определения весовых коэффициентов значимых показателей риска в данной работе был использован метод экспертного сравнения альтернатив – метод анализа иерархий (МАИ) [94].

Данный метод является наиболее известным и часто используемым методом аналитической иерархии, относящимся к методам выбора альтернатив для слабоструктурированных проблем. Особенностью метода является ориентация на суждения экспертов с последующей проверкой на непротиворе-

чивость при помощи отношения согласованности. Также метод имеет хорошее математическое обоснование, основанное на методе собственного значения.

Метод был предложен и детально описан Т. Саати в своей работе «Принятие решений: метод анализа иерархий». Суть метода заключается в том, что рассматривается некоторая заданная совокупность объектов с позиции наличия у них определенных свойств. Важным моментом является наличие у этих объектов некоторого набора общих свойств. Цель, с которой предполагается рассматривать заданные объекты, определяет набор этих свойств, причем при изменении цели набор общих свойств может измениться.

Рассматриваемые свойства объектов имеют различную степень важности, или «вес», с точки зрения заданной цели. В свою очередь каждый объект обладает определенной интенсивностью проявления в нем какого-либо свойства. Перед лицом, принимающим решение (ЛПР) стоит задача определения объекта, максимально соответствующего достижению сформулированной цели.

Применительно к задаче выбора варианта пассажирских перевозок совокупностью объектов будет являться набор вариантов перевозок, целью, с которой будут рассматриваться объекты, будет являться выбор наилучшего варианта перевозок, а набором свойств, по которым будут сравниваться объекты, будет перечень значимых показателей риска. ЛПР определяют степень значимости каждого показателя риска. Интенсивность проявления показателей риска для каждого варианта перевозок определяется их значениями, полученными модулем имитационного моделирования.

На первом шаге, в МАИ, группа экспертов подготавливает матрицу суждений, сравнивая показатели риска:

$$A = (a_{ik}), i, k = 1, \dots, I^*, \quad (2.84)$$

где  $I^*$  – количество значимых показателей риска полученных модулем «Проверка значимости показателей риска», а  $a_{ik}$  – суждения экспертов.

Суждения  $a_{ik}$  определяются согласно следующим правилам [94]:

1) Если  $a_{ik} = \alpha$ , то  $a_{ki} = 1 / \alpha$ , где  $\alpha \neq 0$ .

2) Если согласно суждениям показатель риска  $C_i^*$  имеет одинаковую с показателем риска  $C_k^*$  относительную важность, то  $a_{ik} = 1$ .

Полученная матрица  $A$  является положительной и обратносимметричной с единичными диагональными элементами. В случае если матрицу суждений подготавливает не один эксперт, а группа, каждый эксперт готовит свою матрицу суждений, а затем элементы этих матриц усредняются через среднегеометрическое.

Суждения определяются в соответствии со шкалой (таблица 2.2).

Таблица 2.2

#### Шкала по определению суждений

№	Отношение показателей риска	$a_{ik}$
1	показатель $C_i^*$ и показатель $C_k^*$ одинаково важны	1 - 2
2	показатель $C_i^*$ незначительно важнее (лучше) показателя $C_k^*$	2 - 4
3	показатель $C_i^*$ значительно важнее (лучше) показателя $C_k^*$	4 - 6
4	показатель $C_i^*$ явно важнее (лучше) показателя $C_k^*$	6 - 8
5	показатель $C_i^*$ абсолютно превосходит показатель $C_k^*$	8 - 9

На втором шаге, основываясь на полученной матрице суждений  $A$ , вычисляется вектор искомых весовых коэффициентов  $w$ , удовлетворяющий условию

$$Aw = \lambda_{\max} w, \quad (2.85)$$

где  $w$  – искомый вектор коэффициентов;

$$w = (w_1, \dots, w_i, \dots, w_{I^*}); \sum_{i=1}^{I^*} w_i = 1; \quad (2.86)$$

$\lambda_{\max}$  – наибольшее собственное значение матрицы  $A$ , определяющееся по формуле

$$\lambda_{\max} = \lim_{l \rightarrow \infty} \left[ \sum_{i=1}^{I^*} a_{ii}^l \right]^{\frac{1}{l}}. \quad (2.87)$$

На третьем шаге производится проверка согласованности полученной матрицы суждений.

В связи с тем, что в МАИ при составлении матрицы суждений используется дискретная шкала относительной важности, зачастую возникает расхождение реальных оценок с идеальными. Совершенной согласованности суждений на практике достичь практически невозможно, поэтому в МАИ имеется способ оценки степени согласованности. Для этого вычисляется индекс согласованности и отношение согласованности.

Индекс согласованности представляет собой количественную оценку противоречивости сравнений свойств объектов и показывает степень согласованности. Определяется он следующим образом

$$IS = \frac{\lambda_{\max} - I^*}{I^* - 1}. \quad (2.88)$$

Для окончательного определения согласованности сравнений вычисляется количественная оценка относительной согласованности

$$OS = \frac{IS}{SI(I^*)}, \quad (2.89)$$

где  $SI(I^*)$  – случайный индекс, который определяется из таблицы 2.3. Значение  $OS \leq 0,1$  считается приемлемым. В противном случае необходимо заново составить матрицу суждений.

Определение случайного индекса

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

После проверки данных на согласованность считают, что полученный на втором шаге вектор весовых коэффициентов  $w$  (2.86) отражает степень важности показателей риска.

Показатель риска с максимальным весовым коэффициентом считается наиболее существенным.

Полученный вектор весовых коэффициентов  $w$  и полученный модулем «Проверка значимости показателей риска» набор значений значимых показателей риска по каждому варианту пассажирских перевозок  $C^*$  (2.4) используются для вычисления значения интегрального показателя по каждому варианту пассажирских перевозок

$$P = \left( p_j = \sum_{i=1}^{I^*} (w_i \cdot c_{ij}^*), j = \overline{1, J} \right). \quad (2.90)$$

На втором этапе предлагаемой процедуры ранжирования выбирается наиболее существенный вариант пассажирских перевозок по экстремальному значению интегрального показателя  $P$ .

Стоит отметить, что для показателей риска экстремальным значением будет считаться наименьшее из имеющихся

$$B_{j0} = \min_j p_j. \quad (2.91)$$

## 2.5. Программное обеспечение выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок

Для решения задачи выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок был разработан программный комплекс «Выбор наилучшего варианта

пассажи́рских перево́зок в усло́виях неопреде́ленности и риско́в» (ПК ВНВПП) име́ющий структу́ру, показанную на (рис. 2.4).

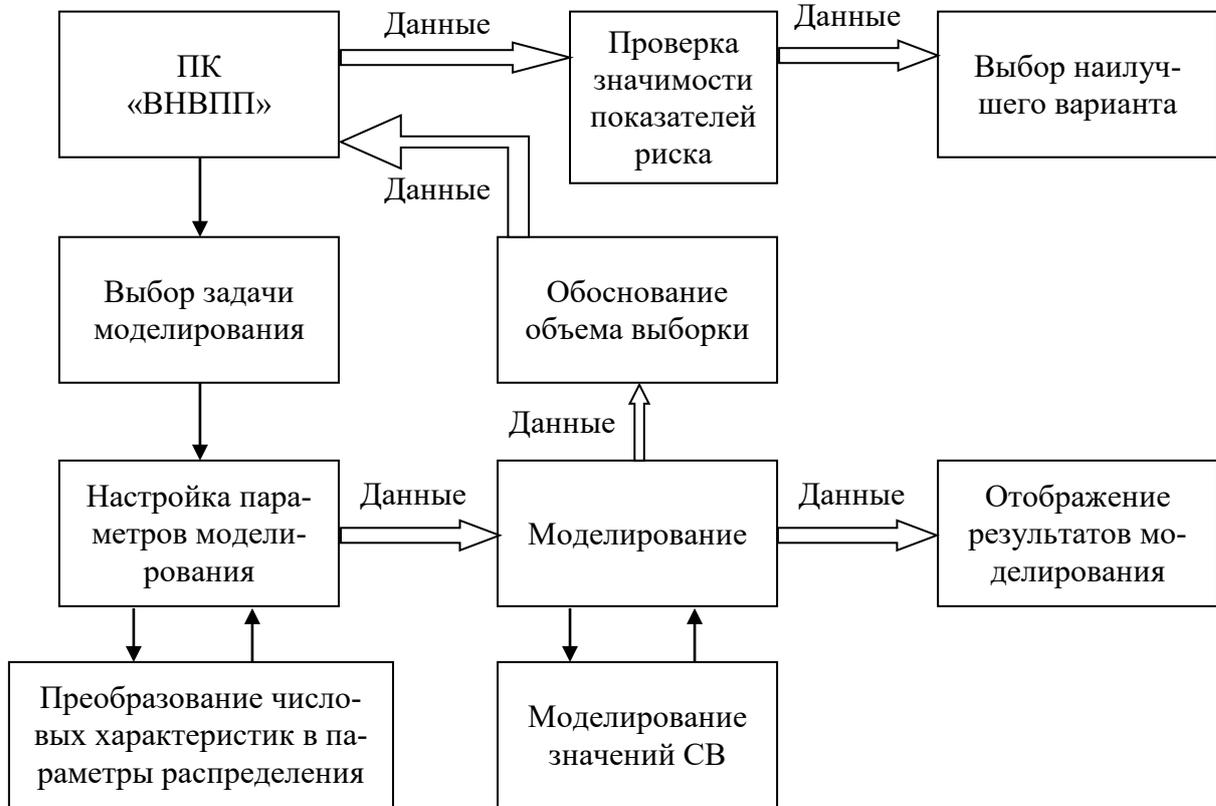


Рис. 2.4. Структура ПК «Выбор наилучшего варианта пассажирских перевозок в условиях неопределенности и рисков»

Программный комплекс позволяет решить следующие задачи:

1. Моделирование точки безубыточности и вложенного дохода на единицу продукции;
2. Моделирование операционной прибыли, вложенного дохода, операционного рычага и запаса безопасности в натуральных единицах, в стоимостном исчислении и в процентах, риск по показателю вложенного дохода, риск по показателю запаса безопасности в натуральных единицах и стоимостном исчислении;
3. Моделирование операционного риска по трем показателям: риск по показателю операционной прибыли, среднее квадратическое отклонение операционной прибыли и коэффициент вариации операционной прибыли в

процентах. Формирование графиков зависимостей: риска по показателю операционной прибыли при заданном объеме пассажирооборота и при заданном значении операционной прибыли;

4. Моделирование показателя рентабельности инвестиций, срока окупаемости и риска по показателю рентабельности инвестиций. Формирование графика зависимости риска по показателю рентабельности инвестиций при заданном объеме продукции;

5. Проверку достаточности объема выборки для выполнения сравнения вариантов пассажирских перевозок;

6. Проверку значимости показателей риска;

7. Вычисление интегрального показателя;

8. Выбор наилучшего варианта пассажирских перевозок.

В качестве среды разработки программного комплекса был выбран пакет программирования Borland Delphi 7.0. Данная среда разработки обладает инструментами по созданию кросс-платформенных приложений и низкоуровневому взаимодействию с операционной системой, что позволяет достаточно быстро создавать легко масштабируемые приложения, обладающие высокой производительностью и низкими требованиями к компонентам компьютера. Наличие в среде разработки готовых компонентов по взаимодействию с различными СУБД позволяет реализовать с их использованием хранение и обработку массивов данных, обеспечивая при этом высокую скорость обмена данными и производительность.

#### *Форма выбора задачи*

При запуске ПК ВНВПП открывается основная форма, на которой пользователю при помощи поля переключателей предлагается выбрать решаемую задачу (рис. 2.5).

При выборе задачи моделирования показателей эффективности, пользователь может перейти на форму настройки параметров ее моделирования, активировав закладку «Исходные данные».

Все закладки, при помощи которых пользователь может попасть в формы настроек или отображения результатов выполнения задачи, расположены в верхней части основного окна программы.

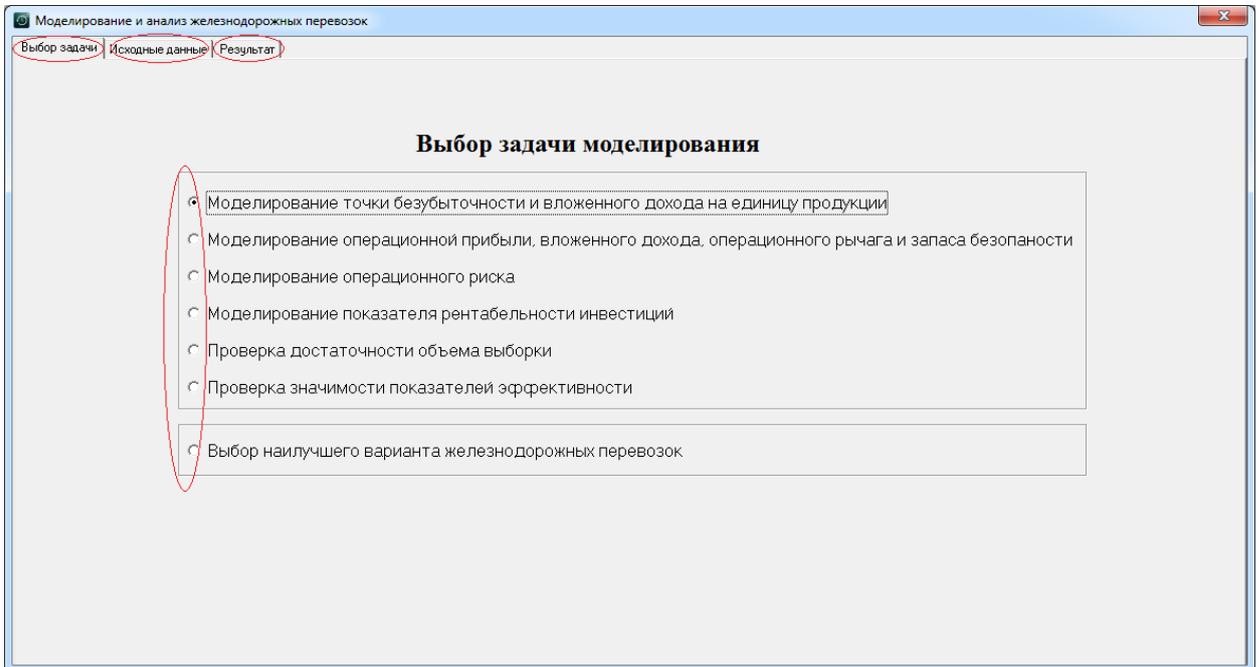


Рис. 2.5. Форма выбора выполняемой задачи ПК ВВП

В любой момент работы программного комплекса (при задании параметров выполнения задачи, просмотра результатов ее выполнения или во время выполнения задачи) пользователь может вернуться на основную форму выбора выполняемой задачи, активизировав закладку «Выбор задачи». Выполнение любой из задач происходит в фоновом режиме, что позволяет пользователю даже во время выполнения задачи перемещаться по закладкам программы и просматривать результаты выполнения других задач. Результаты выполнения каждой из задач сохраняются в памяти компьютера вплоть до завершения работы программного комплекса. Пользователь всегда может повторно их посмотреть, выбрав на форме выбора задач необходимую и перейдя на форму просмотра результатов ее выполнения.

Параметры выполнения каждой из задач, заданные пользователем, в отличие от результатов, сохраняются даже после закрытия программного

комплекса и снова отображаются на форме настройки параметров задачи при повторном запуске программы.

### *Форма настроек параметров задачи моделирования*

Форма настроек предназначена для индивидуальной настройки параметров каждой из задачи моделирования. Переход на форму настройки осуществляется путем активизации закладки «Исходные данные» при выборе задачи моделирования на форме выбора задачи.

Форма настроек параметров задачи моделирования индивидуальна для каждой из задач, однако на каждой из них имеются одинаковые элементы управления, обладающие сходным назначением и способом использования (рис. 2.6).

Моделирование и анализ железнодорожных перевозок

Выбор задачи | Исходные данные | Результат

Моделирование точки безубыточности и вложенного дохода на единицу продукции

1 / 4

**Параметры величины Y**

Вид распределения: Логарифмически нормальное распределение

Числовые характеристики:

Параметр	Значение
Математическое ожидание	31.1
Среднеквадратическое отклонение	3.11
Метод моделирования норм. СВ	Центр. пред. теорема

**Параметры величины X**

Вид распределения: Распределение Бирнбаума-Саундерса

Числовые характеристики:

Параметр	Значение
Математическое ожидание	13.1
Среднеквадратическое отклонение	1.31
Метод моделирования норм. СВ	Центр. пред. теорема

**Параметры величины K**

Вид распределения: Нормальный закон

Числовые характеристики:

Параметр	Значение
Математическое ожидание	220000
Среднеквадратическое отклонение	33000
Метод моделирования норм. СВ	Центр. пред. теорема

**Параметры величины D**

Вид распределения: Бета-распределение

Числовые характеристики:

Параметр	Значение
Математическое ожидание	51000
Среднеквадратическое отклонение	10393
Начало интервала (a)	42000
Конец интервала (b)	64000

**Объем выборки**: 10000

**Генерация выборки**

**№ варианта**: 1

Генерировать

**Условные обозначения**

Y - Выручка на ед. прод-ции в руб. / н.е.  
X - Переменные затраты на ед. прод-ции в руб. / н.е.  
K - Постоянные затраты, руб.  
D - Объем дотаций

**Возможные виды распределения величин**

- Нормальный закон
- Гамма-распределение
- Бета-распределение
- Логарифмически нормальное распределение
- Распределение Бирнбаума-Саундерса
- Детерминированная величина

Испытание №1

Рис. 2.6. Форма настройки параметров задачи моделирования

Настраивая параметры выполнения задачи моделирования, пользователь задает вид распределения каждой из величин и его числовые характеристики.

Задания закона распределения вероятностей величины выполняется при помощи поля выбора «Вид распределения» (рис. 2.6). Для изменения вида распределения необходимо нажать кнопку вывода списка доступных зна-

чений поля «Вид распределения» и выбрать из отобразившегося на экране списка возможных видов распределения необходимый (рис. 2.7). Следует отметить, что в качестве возможного предлагается вариант детерминированной величины.

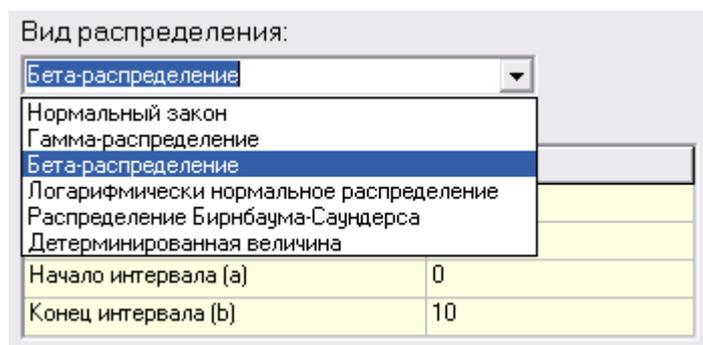


Рис. 2.7. Поле выбора вида распределения величины

При выборе необходимого вида распределения в поле настройки значений числовых характеристик «Числовые характеристики» отображаются числовые характеристики данного распределения. Пользователь может указать значение каждой из характеристик, перейдя в соответствующее поле (рис. 2.8).

Числовые характеристики:	
Параметр	Значение
Математическое ожидание	0.677
Среднеквадратическое отклонение	0.03
Начало интервала (a)	0
Конец интервала (b)	10

Рис. 2.8. Поле изменения числовых характеристик распределения

Кроме настройки параметров моделирования величин, пользователь должен указать объем выборки, который будет сгенерирован при выполнении задачи моделирования. Настройка объема выборки производится в поле «Объем выборки» (рис. 2.6).

Номер варианта пассажирских перевозок, к которому относятся настраиваемые параметры моделирования величин, указывается в поле «№ варианта» (рис. 2.6). При изменении параметров моделирования величины,

программа автоматически определяет относятся ли введенные параметры к текущему варианту перевозок или нет и, в случае необходимости, увеличивает номер варианта. Это упрощает работу с программным комплексом и позволяет избежать ошибок при настройке параметров моделирования задачи.

В левом нижнем углу формы настройки параметров задачи моделирования показывается номер испытания, которое будет выполняться для текущего варианта пассажирских (рис. 2.6).

В правом верхнем углу формы настройки параметров отображается номер задачи моделирования, для которой выполняется настройка.

Выполнив необходимые настройки, пользователь может запустить выполнение задачи моделирования, нажав кнопку «Генерировать». После запуска выполнения задачи моделирования программный комплекс осуществляет проверку корректности заданных параметров моделирования и, в случае необходимости, выводит предупреждающее сообщение, прерывая процесс моделирования. После проверки корректности параметров моделирования начинается процесс моделирования, степень выполнения которого отображается в поле «Генерация выборки» (рис. 2.6.).

При нажатии кнопки «Генерировать» и запуске процесса моделирования надпись на ней изменяется на «Остановить генерирование». ПК ВНВПП позволяет остановить процесс моделирования в любой момент путем нажатия на кнопку «Остановить генерирование». После окончания процесса моделирования надпись на кнопке «Остановить генерирование» вновь меняется на «Генерировать».

При нажатии правой кнопки мыши на любом месте формы настройки параметров задачи моделирования отображается меню дополнительных действий (рис. 2.9).

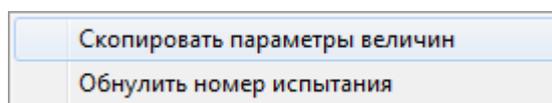


Рис. 2.9. Меню дополнительных действий

При выборе пункта меню дополнительных действий «Скопировать параметры величин» открывается форма настройки параметров копирования параметров величин (рис. 2.10).

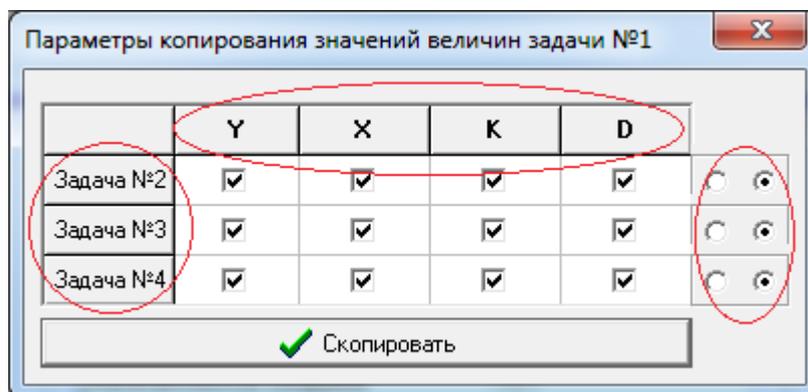


Рис. 2.10. Форма настройки копирования значений величин

В данной форме пользователь может указать значения каких величин и в какую задачу моделирования будут скопированы. Переключатели расположенные в правой части формы позволяют снять или установить признаки копирования всех величин для определенной задачи. Данный функционал используется для упрощения настройки параметров задач моделирования.

При выборе пункта меню дополнительных действий «Обнулить номер испытания» (рис. 2.9) происходит обнуление счетчика испытаний для текущего номера варианта пассажирских перевозок.

На форме настроек параметров задачи моделирования находятся информационные поля «Условные обозначения» и «Возможные виды распределения величин» (рис. 2.6) отображающие используемые обозначения величин и возможные виды их распределения.

Для задачи моделирования «Моделирование точки безубыточности и вложенного дохода на единицу продукции» форма настройки параметров имеет следующий вид (рис. 2.11).

Моделирование и анализ железнодорожных перевозок

Выбор задачи: Исходные данные

Моделирование точки безубыточности и вложенного дохода на единицу продукции 1 / 4

**Параметры величины Y**  
 Вид распределения: Логарифмически нормальное распределение  
 Числовые характеристики:

Параметр	Значение
Математическое ожидание	31.1
Среднеквадратическое отклонение	3.11
Метод моделирования норм. СВ	Центр. пред. теорема

**Параметры величины X**  
 Вид распределения: Распределение Бирнбаума-Саундерса  
 Числовые характеристики:

Параметр	Значение
Математическое ожидание	13.1
Среднеквадратическое отклонение	1.31
Метод моделирования норм. СВ	Центр. пред. теорема

**Параметры величины K**  
 Вид распределения: Нормальный закон  
 Числовые характеристики:

Параметр	Значение
Математическое ожидание	220000
Среднеквадратическое отклонение	33000
Метод моделирования норм. СВ	Центр. пред. теорема

**Параметры величины D**  
 Вид распределения: Бета-распределение  
 Числовые характеристики:

Параметр	Значение
Математическое ожидание	51000
Среднеквадратическое отклонение	10393
Начало интервала (a)	42000
Конец интервала (b)	64000

Объем выборки: 10000  
 Генерация выборки:   
 № варианта: 1  
 Генерировать

**Условные обозначения**  
 Y - Выручка на ед. прод-ции в руб. / н.е.  
 X - Переменные затраты на ед. прод-ции в руб. / н.е.  
 K - Постоянные затраты, руб.  
 D - Объем дотаций

**Возможные виды распределения величин**  
 - Нормальный закон  
 - Гамма-распределение  
 - Бета-распределение  
 - Логарифмически нормальное распределение  
 - Распределение Бирнбаума-Саундерса  
 - Детерминированная величина

Испытание № 1

Рис. 2.11. Форма настройки параметров задачи «Моделирование точки безубыточности и вложенного дохода на единицу продукции»

В форме настройки параметров данной задачи моделирования указываются параметры следующих величин: величины выручки на единицу продукции ( $Y$ ), величины переменных затрат на единицу продукции ( $X$ ), величины постоянных затрат ( $K$ ) и величины размера дотации ( $D$ ).

Для задачи моделирования «Моделирование операционной прибыли, вложенного дохода, операционного рычага и запаса безопасности» форма настройки параметров имеет следующий вид (рис. 2.12).

В форме настройки параметров данной задачи моделирования указываются параметры следующих величин: величины выручки на единицу продукции ( $Y$ ), величины переменных затрат на единицу продукции ( $X$ ), величины постоянных затрат ( $K$ ), величины пассажирооборота ( $Q$ ), величины размера дотации ( $D$ ), величины заданного вложенного дохода ( $CM_3$ ), величины заданного запаса безопасности в натуральных единицах измерения ( $ZBN_3$ ) и величины заданного запаса безопасности в стоимостном исчислении ( $ZBY_3$ ).

Моделирование и анализ железнодорожных перевозок

Выбор задачи Исходные данные

**Моделирование операционной прибыли, вложенного дохода, операционного рычага и запаса безопасности** 2 / 4

**Параметры величины Y**

Вид распределения:   
 Логарифмически нормальное распределение

Числовые характеристики:

Параметр	Значение
Математическое ожидание	31.1
Среднеквадратическое отклонение	3.11
Метод моделирования норм. СВ	Центр. пред. теорема

**Параметры величины X**

Вид распределения:   
 Распределение Бирнбаума-Сандерса

Числовые характеристики:

Параметр	Значение
Математическое ожидание	13.1
Среднеквадратическое отклонение	1.31
Метод моделирования норм. СВ	Центр. пред. теорема

**Параметры величины K**

Вид распределения:   
 Нормальный закон

Числовые характеристики:

Параметр	Значение
Математическое ожидание	220000
Среднеквадратическое отклонение	33000
Метод моделирования норм. СВ	Центр. пред. теорема

**Параметры величины Q**

Вид распределения:   
 Нормальный закон

Числовые характеристики:

Параметр	Значение
Математическое ожидание	12100
Среднеквадратическое отклонение	1815
Метод моделирования норм. СВ	Центр. пред. теорема

**Параметры величины D**

Вид распределения:   
 Бета-распределение

Числовые характеристики:

Параметр	Значение
Математическое ожидание	51000
Среднеквадратическое отклонение	10393
Начало интервала (a)	42000
Конец интервала (b)	64000

СМз:  ZBNз:  ZBYз:

№ варианта:  Интерв. гистогр.:

**Условные обозначения**

Y - Выручка на ед. прод-ции в руб. / н.е.  
X - Переменные затраты на ед. прод-ции в руб. / н.е.  
K - Постоянные затраты, руб.  
Q - Объем продукции в натуральных единицах  
D - Объем дотаций

Объем выборки:  Генерация выборки:

Испытание № 1

Рис. 2.12. Форма настройки параметров задачи «Моделирование операционной прибыли, вложенного дохода, операционного рычага и запаса безопасности»

Для задачи моделирования «Моделирование операционного риска» форма настройки параметров имеет следующий вид (рис. 2.13).

Моделирование и анализ железнодорожных перевозок

Выбор задачи Исходные данные

**Моделирование операционного риска** 3 / 4

**Параметры величины Y**

Вид распределения:   
 Логарифмически нормальное распределение

Числовые характеристики:

Параметр	Значение
Математическое ожидание	31.1
Среднеквадратическое отклонение	3.11
Метод моделирования норм. СВ	Центр. пред. теорема

**Параметры величины X**

Вид распределения:   
 Распределение Бирнбаума-Сандерса

Числовые характеристики:

Параметр	Значение
Математическое ожидание	13.1
Среднеквадратическое отклонение	1.31
Метод моделирования норм. СВ	Центр. пред. теорема

**Параметры величины K**

Вид распределения:   
 Нормальный закон

Числовые характеристики:

Параметр	Значение
Математическое ожидание	220000
Среднеквадратическое отклонение	33000
Метод моделирования норм. СВ	Центр. пред. теорема

**Параметры величины Q**

Вид распределения:   
 Нормальный закон

Числовые характеристики:

Параметр	Значение
Математическое ожидание	12100
Среднеквадратическое отклонение	1815
Метод моделирования норм. СВ	Центр. пред. теорема

**Параметры величины D**

Вид распределения:   
 Бета-распределение

Числовые характеристики:

Параметр	Значение
Математическое ожидание	51000
Среднеквадратическое отклонение	10393
Начало интервала (a)	42000
Конец интервала (b)	64000

Диапазон значений ОР для графика R (ОРз):  
ОР1:  ОР2:

Диапазон значений Q для графика R (Q):  
Q1:  Q2:

ОРз:  № варианта:  Расчет:  R (ОРз)  R (Q)

Объем выборки:  Интервалов гистогр.:

Испытание № 1

**Условные обозначения**

Y - Выручка на ед. прод-ции в руб. / н.е.  
X - Переменные затраты на ед. прод-ции в руб. / н.е.  
K - Постоянные затраты, руб.  
Q - Объем продукции в натуральных единицах  
D - Объем дотаций

Рис. 2.13. Форма настройки параметров задачи «Моделирование операционный риск»

В форме настройки параметров данной задачи моделирования указываются параметры следующих величин: величины выручки на единицу продукции ( $Y$ ), величины переменных затрат на единицу продукции ( $X$ ), величины постоянных затрат ( $K$ ), величины пассажирооборота ( $Q$ ), величины размера дотации ( $D$ ) и величины заданной операционной прибыли ( $OP_3$ ).

В поле «Расчет» пользователь может указать необходимость формирования зависимости  $R(OP_3)$  при заданном объеме пассажирооборота  $Q$  и зависимости  $R(Q)$  при заданном значении операционной прибыли  $OP_3$ .

Также пользователь может задать диапазон изменения величины операционной прибыли для расчета зависимости  $R(OP_3)$  и диапазон изменения величины пассажирооборота для расчета зависимости  $R(Q)$ .

Для задачи моделирования «Моделирование показателя рентабельности инвестиций» форма настройки параметров имеет следующий вид (рис. 2.14).

Моделирование и анализ железнодорожных перевозок

Выбор задачи | Исходные данные | **Моделирование показателя рентабельности инвестиций** | 4 / 4

**Параметры величины Y**  
 Вид распределения: Логарифмически нормальное распределение  
 Числовые характеристики:

Параметр	Значение
Математическое ожидание	31.1
Среднеквадратическое отклонение	3.11
Метод моделирования норм. СВ	Центр. пред. теорема

**Параметры величины X**  
 Вид распределения: Распределение Бирнбаума-Сандерса  
 Числовые характеристики:

Параметр	Значение
Математическое ожидание	13.1
Среднеквадратическое отклонение	1.31
Метод моделирования норм. СВ	Центр. пред. теорема

**Параметры величины K**  
 Вид распределения: Нормальный закон  
 Числовые характеристики:

Параметр	Значение
Математическое ожидание	220000
Среднеквадратическое отклонение	33000
Метод моделирования норм. СВ	Центр. пред. теорема

**Параметры величины Q**  
 Вид распределения: Нормальный закон  
 Числовые характеристики:

Параметр	Значение
Математическое ожидание	12100
Среднеквадратическое отклонение	1815
Метод моделирования норм. СВ	Центр. пред. теорема

**Параметры величины In**  
 Вид распределения: Гамма-распределение  
 Числовые характеристики:

Параметр	Значение
Математическое ожидание	120000
Среднеквадратическое отклонение	24000

**Параметры величины D**  
 Вид распределения: Бета-распределение  
 Числовые характеристики:

Параметр	Значение
Математическое ожидание	51000
Среднеквадратическое отклонение	10393
Начало интервала (a)	42000
Конец интервала (b)	64000

**Генерация выборки**  
 Объем выборки: 10000  
 Генерировать

**Диапазон значений ROI (%) для R (ROIa)**  
 ROI1: 0 ROI2: 50

**Условные обозначения**  
 Y - Выручка на ед. прод-ции в руб. / н.е.  
 X - Переменные затраты на ед. прод-ции в руб. / н.е.  
 K - Постоянные затраты, руб.  
 Q - Объем продукции в натуральных единицах  
 In - Объем инвестиций  
 D - Объем дотаций

№ варианта: 1 | Инт. гист.: 100 | ROIa (%): 15  
 R (ROIa)

Испытание № 1

Рис. 2.14. Форма настройки параметров задачи «Моделирование показателя рентабельности инвестиций»

В форме настройки параметров данной задачи моделирования указываются параметры следующих величин: величины выручки на единицу продукции ( $Y$ ), величины переменных затрат на единицу продукции ( $X$ ), величины постоянных затрат ( $K$ ), величины пассажирооборота ( $Q$ ), величины размера инвестиций ( $In$ ), величины размера дотации ( $D$ ) и величины заданной рентабельности инвестиций ( $ROI_3$ ).

Пользователь может указать необходимость формирования зависимости  $R(ROI_3)$  при заданном объеме пассажирооборота  $Q$ .

Также пользователь может задать диапазон изменения величины рентабельности инвестиций для расчета зависимости  $R(ROI_3)$ .

### Форма отображения результатов моделирования

Форма отображения результатов моделирования предназначена для вывода результатов выполнения задачи моделирования. Данная форма автоматически активизируется после выполнения процесса моделирования любой из задач. Пользователь может в любой момент перейти на данную форму, если задача моделирования была выполнена, активизировав закладку «Результат».

Также как и форма настройки задачи моделирования форма отображения результатов выглядит индивидуально для каждой из задач моделирования, но имеет и одинаковые элементы управления (рис. 2.15).

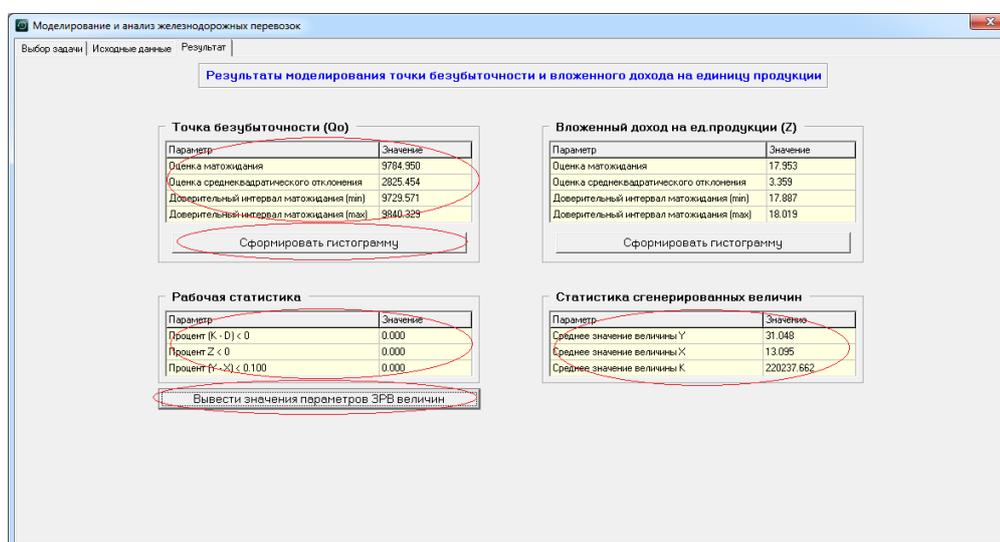


Рис. 2.15. Форма отображения результатов моделирования

При выполнении каждой из задач моделирование происходит вычисление точечных и интервальных оценок показателей эффективности. На форме отображения результатов моделирования имеется возможность вывести на экран гистограммы относительных частот. Для этого необходимо нажать кнопку «Сформировать гистограмму», находящуюся под полем отображения результатов моделирования соответствующей величины. Для более гибкой работы с выведенной гистограммой, имеется возможность изменения параметров ее формирования. После изменения параметров формирования гистограммы необходимо нажать кнопку «Переформировать гистограмму». Для возврата к исходным значениям, автоматически определенных при выводе гистограммы, необходимо нажать соответствующую кнопку (рис. 2.16).

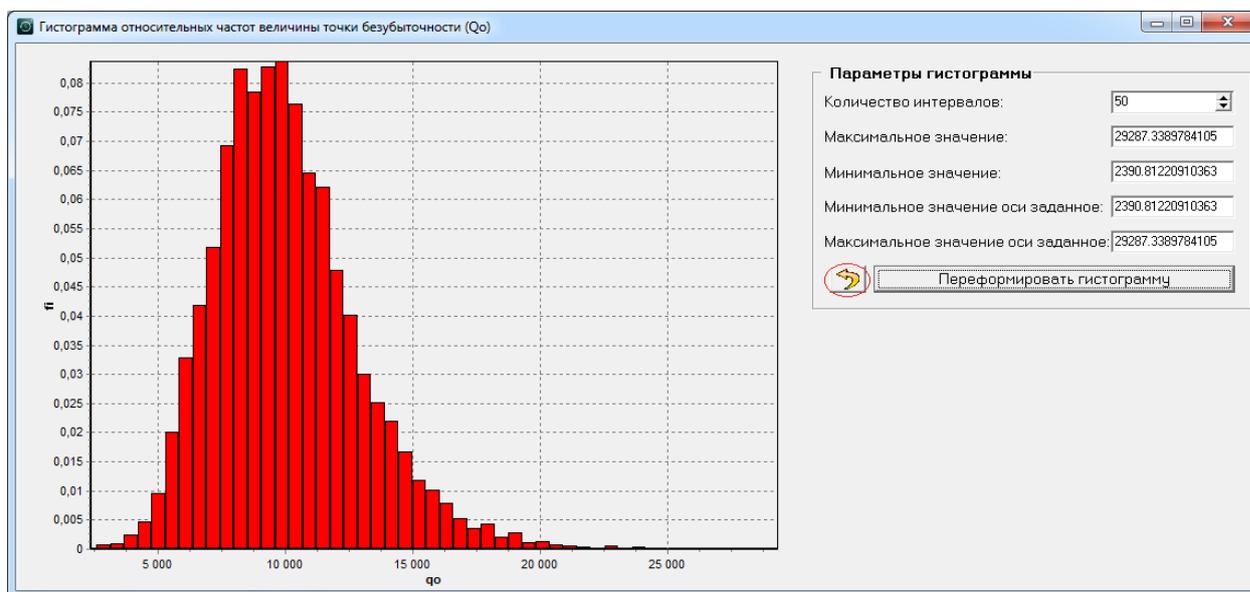


Рис. 2.16. Форма отображения гистограммы относительных частот

После завершения работы с формой отображения гистограммы она может быть закрыта.

Для оценки «качества» полученных результатов моделирования в поле «Рабочая статистика» на форме отображения результатов выводится рабочая статистика, накопленная в процессе моделирования значений величин.

Для вывода значений параметров законов распределения вероятностей, использованных при моделировании значений величин, нужно нажать на

кнопку «Вывести значения параметров ЗРВ величин», расположенную на форме отображения результатов моделирования.

### Форма проверки достаточности объема выборки

При выборе задачи «Проверка достаточности объема выборки» пользователю становится доступной для перехода закладка «Проверка объема выборки». При переходе на эту закладку отображается форма проверки достаточности объема выборки (рис. 2.17).

	B1	B2	B3	B4	Ncrit	Zn
Qo	3434.277	3794.789	3790.845	3175.205	8026	0.000
Z	0.824	0.749	0.749	0.891	1271	0.000
OP	714.214	711.256	561.968	818.812	289	0.000
CM	3661.360	3658.846	3513.143	3764.831	3999	0.000
ZBN	0.180	0.177	0.139	0.205	304	0.000
ZBY	1235.613	1272.803	987.658	1388.048	412	0.000
R(CMs)	0.114	0.124	0.173	0.084	1667	0.000
R(ZBNs)	0.143	0.150	0.203	0.109	1328	0.000
R(ZBs)	0.143	0.150	0.203	0.109	1334	0.000
R(OPs)	0.144	0.157	0.199	0.107	1193	0.000
ROI	178.233	181.310	140.596	203.535	321	0.000
TO	0.567	0.557	0.719	0.496	146	0.000
R(ROIs)	0.170	0.172	0.234	0.136	170	0.000

Параметр	Значение
Объем выборки	10000
Достаточность объема	достаточен
Критический объем	8026

Рис. 2.17. Форма проверки достаточности объема выборки

На данной форме отображаются полученные в процессе выполнения задач моделирования оценки значений показателей эффективности по каждому из вариантов пассажирских перевозок. Также отображается рассчитанный для каждого показателя эффективности критический объем выборки ( $N_{крит}$ ) и значение статистики  $Zn$ , показывающей достаточность текущего объема выборки для последующего сравнения вариантов пассажирских перевозок по значениям показателей эффективности. Если для какой-то величины получено критическое значение статистики  $Zn$ , она окрашивается красным цветом. Это значит, что для этого показателя эффективности текущий объем выборки недостаточен. Необходимо изменить объем выборки для моделиро-

вания данной величины и установить его не ниже рассчитанного критического объема выборки. После этого нужно повторно выполнить моделирование и заново проверить достаточность объема выборки.

При выделении строки с данными по какой-либо из величин, можно вывести таблицу с детальными расчетами проверки достаточности объема выборки по этой величине. Для этого достаточно нажать кнопку «Детально» после чего будет открыта форма, представленная на рисунке 2.18.

	$\tilde{y}_j$	$\tilde{x}_j$	$\tilde{x}_j^2$	$s_j$	$s_j^2$
B1	0.731	<b>0.731</b>	0.535	0.102	0.010
B2	0.667	0.667	0.445	0.098	0.010
B3	0.603	0.603	0.363	0.095	0.009
B4	0.668	<b>0.668</b>	0.446	0.099	0.010
$\Sigma$	<b>2.669</b>	<b>2.669</b>	<b>1.789</b>	<b>0.395</b>	<b>0.039</b>

<b>n</b>	10000
<b><math>\delta_0</math></b>	0.0150990844053666
<b><math>Hn</math></b>	14010.3575142659
<b>m</b>	19999,5
<b><math>Z_n</math></b>	0.000

$Z_n < 0.05$

Рис. 2.18. Форма детальнх расчетов проверки достаточности объема выборки величины

Для вывода графика зависимости  $Z_n(n)$  необходимо выделить строку с данными нужной величины и нажать кнопку «График зависимости  $Z_n(n)$ », после чего будет отображена соответствующая форма (рис. 2.19).

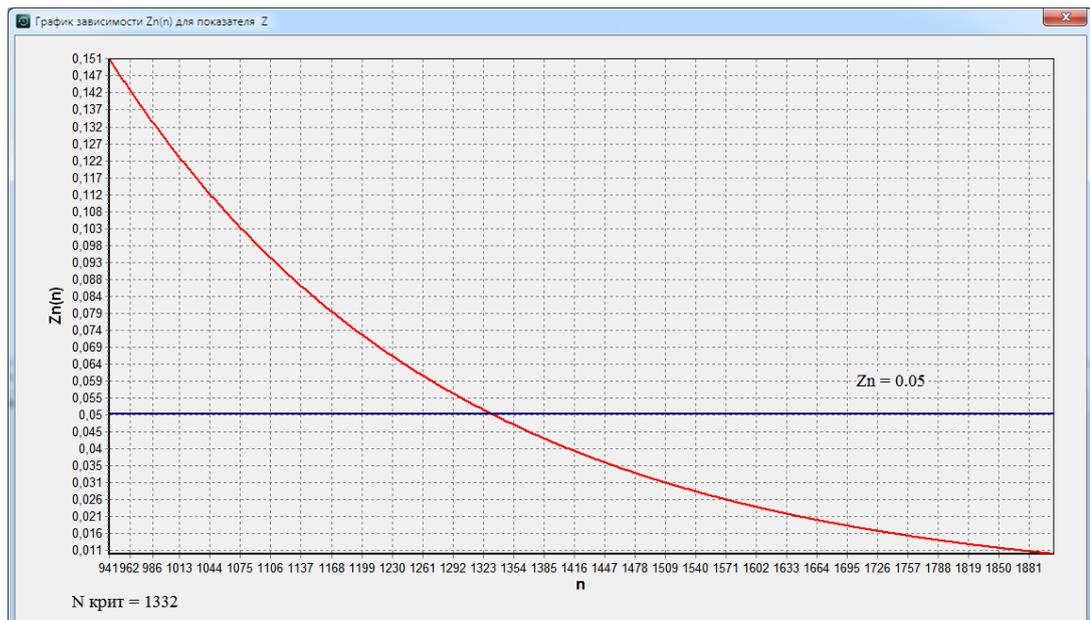


Рис. 2.19. Форма вывода зависимости  $Z_n(n)$

## 2.6. Выводы по главе 2

1. Разработана постановка задачи выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок по значениям показателей эффективности по каждому из вариантов в условиях неопределенности исходных данных с использованием вероятностного анализа безубыточности на основе имитационного моделирования. К исходным данным каждого варианта пассажирских перевозок относятся: пассажирооборот в натуральных единицах, переменные затраты на единицу пассажирооборота, постоянные затраты, цена единицы пассажирооборота, размер дотаций и размер инвестиций.

2. Предложено специальное алгоритмическое обеспечение расчета показателей эффективности по каждому варианту пассажирских перевозок с возможностью использования при моделировании исходных данных одного из шести предложенных законов: нормального; усеченного нормального на интервале  $(0, \infty)$ ; бета-распределения на интервале  $(a, b)$ ; гамма-распределения; логарифмически-нормального распределения; распределения Бирнбаума-Саундерса. Для каждого из предложенных законов выбраны алгоритмы моделирования случайных величин. В связи с тем, что алгоритмы зависят от параметров закона, разработаны модели, связывающие параметры закона и его числовые характеристики.

3. Создано алгоритмическое обеспечение обоснования объема выборки используемого при получении оценок показателей эффективности, достаточного для корректного выполнения сравнения вариантов пассажирских перевозок по значениям этих показателей при помощи метода Бехгоффера и Блюменталья. Помимо этого реализована возможность проверки значимости показателей эффективности при помощи дисперсионного анализа.

4. Создано алгоритмическое обеспечение сравнения вариантов пассажирских перевозок по набору значений показателей эффективности по каждому варианту пассажирских перевозок и выбору наилучшего из них. Значе-

ние интегрального показателя для каждого варианта пассажирских перевозок определяется путем линейной свертки с использованием метода анализа иерархий.

5. Создано программное обеспечение выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок – программный комплекс «Выбор наилучшего варианта пассажирских перевозок в условиях неопределенности и рисков», основанный на разработанном алгоритмическом обеспечении вероятностного анализа безубыточности на основе имитационного моделирования и алгоритмического обеспечения сравнения вариантов пассажирских перевозок по набору значений показателей эффективности. Программный комплекс реализован при помощи пакета программирования Borland Delphi 7.0 фирмы-производителя Borland.

### **3. АПРОБАЦИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «ВЫБОР НАИЛУЧШЕГО ВАРИАНТА ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И РИСКОВ»**

Третья глава посвящена апробации созданного математического и программного обеспечения для выбора наилучшего варианта региональных пассажирских перевозок дальнего следования на примере Восточно-Сибирского филиала Федеральной Пассажирской Компании (ВСФ ФПК).

В первом параграфе приводится описание объекта исследования.

Во втором параграфе производится апробация моделирующей программного комплекса, оцениваются его возможности, и делается вывод о его работоспособности.

Третий параграф посвящен решению задачи выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок на основе данных ВСФ ФПК за 2012 год. Делаются выводы по полученным результатам.

#### **3.1. Описание Восточно-Сибирского филиала Федеральной Пассажирской Компании**

Восточно-Сибирский филиал (ВСФ) является одним из 15 филиалов ФПК ООО «РЖД». Железнодорожные пути, относящиеся к ВСФ, проходят через Иркутскую область, республику Бурятию, Забайкальский край и республику Саха. ВСФ осуществляет грузовые перевозки и пассажирские перевозки дальнего следования своевременно и в полной мере удовлетворяя потребности экономики и населения в перевозках грузов и пассажиров.

Идея о создании дороги через Восточную Сибирь была озвучена еще в конце XIX века. В то время Восточная Сибирь была еще мало заселена и практически не исследована. После окончания строительства участка железной дороги от Екатеринбурга до Тюмени в 1884 году, необходимость прокладки дороги стала очевидной. В 1887 году создаются три экспедиции с це-

люю проведения предварительных исследований для строительства будущей трассы Транссибирской железной дороги. Сооружение дороги от Челябинска до станции Обь у поселка Новониколаевский (теперь город Новосибирск) было завершено к 1895 году. Уже 6 декабря 1895 года в Красноярск прибывает первый поезд. Прямое сообщение между Красноярском и Иркутском было открыто 1 января 1899 года [47].

По состоянию на конец 2013 года основные показатели филиала имели следующее значение: эксплуатационная длина – 3, 876 тыс. км.; численность сотрудников – 45 786 человек; средняя заработная плата – 46 714 рублей; перевезено грузов – 71,6 млн. тонн; перевезено пассажиров в дальнем сообщении – 3,1 млн. человек. Количество маршрутов закрепленных за ВСФ меняется в связи с проводимой реформой пассажирских перевозок. Так, например, в 2012 году таких маршрутов было 13, в том числе: в прямом сообщении – 9 маршрутов, в местном сообщении – 4 маршрута. Кроме этого перевозка пассажиров обеспечивалась прицепными и беспересадочными вагонами по 8 маршрутам.

Для анализа перевозки пассажиров используются следующие показатели:

- 1) количество пассажиров перевезенных в поездах формирования ВСФ;
- 2) пассажирооборот в поездах формирования ВСФ;
- 3) вагонокилометровая работа по поездам ВСФ;
- 4) использование вместимости по поездам ВСФ.

Количество перевезенных пассажиров в поездах формирования ВСФ за 2012 год (таблица 3.1) составило 3504,5 тыс. пассажиров, что выше плана на 2012 год на 0,6% или на 21,0 тыс. пассажиров (план – 3483,5 тыс. пассажиров) и выше факта за 2011 год на 0,7% или на 23,9 тыс. пассажиров (2011 год – 3480,6 тыс. пассажиров).

Таблица 3.1

Перевезено пассажиров (тыс. пасс.)	Год						
	2011	2012		%		+/-	
	Факт	План	Факт	К плану	К факту	К плану	К факту
Дерегулируемый	946,4	872,3	911,9	104,5	96,3	39,6	-34,5
Регулируемый	2534,1	2611,2	2592,6	99,3	102,3	-18,6	58,5
<b>Всего</b>	<b>3480,6</b>	<b>3483,5</b>	<b>3504,5</b>	<b>100,6</b>	<b>100,7</b>	<b>21,0</b>	<b>23,9</b>

Пассажиροоборот (пассажиροкилометровая работа) в поездах формирования ВСФ за 2012 год (таблица 3.2) составил 4243,6 млн. пасс-км., что ниже плана на 2012 год на 0,02% или на 0,9 млн. пасс-км. (план – 4244,5 млн. пасс-км.) и выше факта за 2011 год на 3,4% или на 138,5 млн. пасс-км. (2011 год – 4105,1 млн. пасс-км.)

Таблица 3.2

Пассажиροоборот (млн. пасс-км.)	Год						
	2011	2012		%		+/-	
	Факт	План	Факт	К плану	К факту	К плану	К факту
Дерегулируемый	1330,7	1271,2	1241,3	97,7	93,3	-29,9	-89,4
Регулируемый	2774,4	2973,3	3002,3	101,0	108,2	29,0	227,9
<b>Всего</b>	<b>4105,1</b>	<b>4244,5</b>	<b>4243,6</b>	<b>100</b>	<b>103,4</b>	<b>-0,9</b>	<b>138,5</b>

Плановое задание по пассажиροкилометровой работе в течение 2012 года не выполнено в июне (на 8,2 млн. пасс-км.), в июле (на 31,7 млн. пасс-км.), в августе (на 27,5 млн. пасс-км.), в ноябре (на 33,1 млн. пасс-км.) и в декабре (на 8,4 млн. пасс-км.).

Основные причины невыполнения планового задания по пассажиροкилометровой работе в июне 2012 года:

- недовключение вагонов по регулируемому сектору в соответствии с правом бюджета при неудовлетворенном спросе на перевозки в данном сегменте. В результате недовключения 190 тыс. ваг-км. по плацкартной группе недополучено 4,18 млн. пасс-км.

Основные причины невыполнения планового задания по пассажирокилометровой работе в 3 квартале 2012 года:

- на 3-й квартал филиалом был согласован и заявлен вагонооборот в регулируемом сегменте на уровне 113,2% к факту прошлого года. На основании заявленного вагонооборота филиалу был установлен план пассажирооборота на 3-й квартал в объеме 110% к уровню 2011 года. По причине неспланированного отделом ремонта и эксплуатации вагонов ремонта, рабочий парк плацкартных вагонов на 3-й квартал фактически оказался на 8 вагонов меньше принятого при расчете. В связи с дефицитом плацкартных вагонов от принятого при расчете, в период пикового спроса июль-август вагонокилометровая работа по регулируемому сектору составила 92,7% к плану или -1,33 млн. ваг-км. Потери пассажирооборота составили 29,3 млн. пасс-км. Для максимального снижения прогнозируемого невыполнения плана пассажирооборота в 3-м квартале и для выполнения общего плана пассажирооборота по итогам 9 месяцев было принято решение по включению купейных вагонов в количестве большем, чем было спланировано ранее. При принятии данного решения было принято во внимание, что в период июль-август в купейных вагонах установлены максимальные цены на проезд. В результате, по итогам 3-го квартала выполнение вагонокилометровой работы по дерегулируемому сектору составило 107,6% к плану, использование вместимости 85,1% к плану. В том числе, использованием вместимости в июле составило 83,7% к плану, в августе 84,2% к плану. Включение купейных вагонов позволило выполнить общий пассажирооборот за 9 месяцев на уровне 99,8% к плану и получить дополнительные доходы (доходные поступления по дерегулируемому сектору составили 110,7% к факту 2011 года);

- сопутствующей причиной невыполнения пассажирокилометровой работы является уменьшение зоны скидок на проезд в купейных вагонах. В 2011 году скидка 30% действовала на верхние места купейных вагон по всем поездом без ограничений. В 2012 году действовала скидка 20% только на 4 поезда формирования филиала (№71/72, 87/88, 362/361, 656/655).

Вагонокilометровая работа по поездам ВСФ за 2012 год (таблица 3.3) составила 143,3 млн. ваг-км., что выше плана на 2012 год на 2,2% или 3 млн. ваг-км. (план – 140,4 млн. ваг-км.) и выше факта за 2011 год на 3,2% или на 4,5 млн. ваг-км. (2011 год – 138,9 млн. ваг-км.)

Таблица 3.3

Вагонокilометровая работа (млн. ваг-км.)	Год						
	2011	2012		%		+/-	
	Факт	План	Факт	К плану	К факту	К плану	К факту
Дерегулируемый	68,3	63,6	68,1	107,1	99,6	4,5	-0,2
Регулируемый	70,6	76,8	75,3	98,1	106,7	-1,4	4,8
<b>Всего</b>	<b>138,9</b>	<b>140,4</b>	<b>143,4</b>	<b>102,2</b>	<b>103,2</b>	<b>3,0</b>	<b>4,5</b>

Использование вместимости по поездам ВСФ за 2012 год в абсолютном выражении (таблица 3.4) составило 70,5% против 70,3% в 2011 году. Первоначально филиалу было установлено задание по данному показателю 70,7% впоследствии повышенное до 72,1%.

Таблица 3.4

Использование вместимости (%)	Год						
	2011	2012		%		+/-	
	Факт	План	Факт	К плану	К факту	К плану	К факту
Дерегулируемый	62,3	63,1	60,0	95,1	96,2	-3,1	-2,4
Регулируемый	74,9	74,3	76,0	102,3	101,5	1,7	1,1
<b>Всего</b>	<b>70,3</b>	<b>70,7</b>	<b>70,5</b>	<b>99,7</b>	<b>100,3</b>	<b>-0,2</b>	<b>0,2</b>

Основные причины невыполнения плана по использованию вместимости за 2012 год:

- дополнительное включение купейных вагонов в 3-м и 4 квартале по итогам которого коэффициент использования вместимости составил 85,1% и 90,4% к плану. Дополнительные включения позволили выполнить задание по уровню пассажирооборота на уровне 99,99% к плану;

- уменьшение зоны применения скидок, что также повлияло на формирование результатов использования вместимости, когда по итогам 1-го квартала при вагонокилометровой работе по дерегулируемому сектору 92,4% к плану использование вместимости составило 93,3% к плану.

*Причины уменьшения объемных показателей*

Снижение объемных и качественных показателей по поездом ВСФ в ноябре и декабре 2012 года связано с увеличением массива предложенных мест в поездах, курсирующих по Восточно-Сибирской железной дороге, за счет увеличения рейсов и назначения дополнительных поездов формирования Приволжского, Западно-Сибирского Куйбышевского и Дальневосточного филиалов:

- поезд №116/115 Волгоград – Иркутск (в 2011 году в зимний период не курсировал);

- поезд №107/108 Владивосток – Новокузнецк (в 2011 году в зимний период не курсировал);

- поезд №143/144 Владивосток – Пенза (в 2011 году в зимний период не курсировал);

- поезд №239/240 Владивосток – Москва (в 2012 году курсирует через день, в 2011 году курсировал 1 раз в 4 дня).

Назначение указанных поездов привело к увеличению массива мест и перераспределению существующего пассажиропотока, который и так имел тенденцию к снижению транспортной активности. Всем поездами с Восточно-Сибирской железной дороги в ноябре-декабре 2012 года отправлено на 18,5 тыс. пассажиров меньше, чем в соответствующем периоде 2011 года.

Необходимо отметить, что в ноябре 2011 года перевозка пассажиров с Восточно-Сибирской железной дороги до станций Красноярской, Западно-Сибирской, Южно-Уральской, Куйбышевской, Дальневосточной железных дорог была обеспечена в достаточном количестве поездами, назначенными в зимнем графике движения 2011-2012 годов.

*Оптимизация движения пассажирских поездов в 2012 году*

В целях обеспечения мероприятий ОАО «Федеральная пассажирская компания» по оптимизации движения пассажирских поездов и повышения финансово-экономических показателей в 2012 году реализованы изменения по маршрутам следования и периодичности курсирования поездов формирования ВСФ. В том числе:

1. Назначен в зимнем графике движения поезд №99/100 «Северобайкальск – Анапа» один раз в неделю.

Рост значения показателей по отношению к 2011 году составил: 53,4 тыс. пассажиров, 72,2 млн. пасс-км. Использование вместимости за 2012 год составило 72,0%.

2. Назначен круглогодично два раза в неделю поезд №197/198 «Иркутск – Кисловодск».

Рост значения показателей по отношению к 2011 году составил: 127,6 тыс. пассажиров, 208,4 млн. пасс-км. Использование вместимости за 2012 год составило 74,1%.

3. Поезд №91/92 «Северобайкальск – Москва» в период с 13 июня назначен ежедневно (в летний период 2011 года курсировал через день) за счет отмены поезда №291/292 «Северобайкальск – Новосибирск».

Рост значения показателей по отношению к 2011 году составил: 157 тыс. пассажиров, 171,6 млн. пасс-км. Использование вместимости за 2012 год составило 73,7%.

В то же время проведена работа по сокращению убытков ОАО «Федеральная пассажирская компания» возникающих при курсировании коротко-составных малонаселенных поездов:

1. Убытки от курсирования поездов №659/660 «Иркутск – Тайшет» и №610/609 «Тайшет – Усть-Илимск» за 2011 год при средней составности 4 вагона составили 158,3 млн. руб., покрытие расходов доходами – 43,2%, с учетом субсидирования убытки 89,4 млн.руб., покрытие расходов доходами – 67,9%.

В графике движения 2012 года отменен поезд №659/660 «Иркутск – Тайшет». Для снижения социальной напряженности поезд №610/609 «Тайшет – Усть-Илимск» в 2012 году сохранен и курсирует через день (в предыдущем графике поезд курсировал 4 раза в неделю). Для сокращения убытков ВСФ проведены мероприятия по привлечению дополнительного пассажиропотока за счет включения беспересадочных групп вагонов «Усть-Илимск – Красноярск», «Усть-Илимск – Новосибирск», «Усть-Илимск – Томск», «Усть-Илимск – Нижний Новгород». Убытки от курсирования поезда в 2012 году сокращены на 65,4 млн. руб. и составили 92,9 млн. руб.

2. С 1 сентября 2012 года отменен поезд №656/655 «Северобайкальск – Новая Чара». Убытки от курсирования поезда за 2011 год при средней составности 6 вагонов составили 45,7 млн. руб. с учетом государственного субсидирования.

3. Отменен беспересадочный вагон по маршруту «Иркутск – Варшава».

#### *Финансово-экономические показатели*

За 2012 год в поездах формирования ВСФ по всем маршрутам следования финансово-экономические показатели составили (таблица 3.5):

- расходы 5788,7 млн. руб., что на 21,1% выше, чем за 2011 год;
- доходы составили 6332,0 млн. руб., что на 18% выше, чем за 2011 год;
- покрытие расходов доходами составило 109,4%, что на 2,8% меньше чем за 2011 год.

Таблица 3.5

	<b>2011 год</b>	<b>2012 год</b>	<b>%</b>
Расход (млн.руб.)	4780,7	5788,7	121,1
Доход (млн.руб.)	5364,1	6332,0	118,0
Прибыль (млн.руб.)	583,4	543,3	0,9
% покрытия расходов доходами	112,2	109,4	-2,8

### *Выводы*

Выполненный анализ объекта исследования наглядно продемонстрировал, что ВСФ оказывающий услуги перевозки пассажиров по маршрутам дальнего следования является достаточно сложным объектом, состоящим из многих компонентов находящихся в сложной взаимосвязи друг с другом и с внешней средой. В качестве внешней среды выступают другие филиалы ФПК, другие дирекции по перевозке пассажиров и другие виды транспорта.

В качестве особенностей данного объекта исследования можно выделить постоянные структурные изменения при перевозке пассажиров: разработка новых маршрутов или изменение старых, изменение количества вагонов в поезде, изменения структуры вагонов, связанных с комфортностью и скоростью перевозки.

Данные особенности объекта исследования обосновывают необходимость инструментального средства, которое позволило бы основе исходной и экспертной информации оценить, сравнить и помочь в принятии решения о выборе наилучшего варианта организации пассажирских перевозок.

Далее будет наглядно продемонстрировано, как можно использовать для этой цели разработанное математическое и программное обеспечение для выбора наилучшего варианта региональных пассажирских перевозок дальнего следования.

### **3.2. Апробация моделирующей программы**

Экспериментальная проверка разработанной моделирующей программы проведена по данным Восточно-Сибирского филиала ФПК ОАО «РЖД» за 2012 год.

На основе ВСФ за 2012 год были получены следующие исходные данные (средние значения):

1) цена единицы пассажирооборота ( $Y$ ) – 1,492 млн. руб. / млн. пасс-км.;

- 2) переменные затраты на единицу пассажирооборота ( $X$ ) – 0,669 млн. руб. / млн. пасс-км.;
- 3) пассажирооборот ( $Q$ ) – 4243,6 млн. пасс-км.;
- 4) постоянные затраты ( $K$ ) – 2948,4 млн. руб.;
- 5) дотация ( $D$ ) – 173,7 млн. руб.;
- 6) инвестиции ( $In$ ) – 400 млн. руб.

Каждое исходное данное в моделирующей программе может быть описано либо как детерминированная величина, в этом случае оно задается числом, либо как случайная величина. В этом случае оно описывается законом распределения вероятностей и значениями математического ожидания и среднеквадратического отклонения. При выполнении моделирования на основе исходных данных все исходные данные были рассмотрены как случайные величины.

Для величины  $Y$  было выбрано гамма-распределение, поскольку оно достаточно широко используется при анализе систем массового обслуживания для описания времени обслуживания клиента (в нашем случае описывается ценовое обслуживание единицы пассажирооборота) [39, 123]. Для величин  $X$  и  $K$  описывающих затраты был выбран нормальный закон, согласно общим рекомендациям [96]. Для пассажирооборота  $Q$  было выбрано распределение Бирнбаума-Саундерса. Выбор данного распределения был обоснован в работе [34]. Для дотации  $D$  было выбрано бета-распределение, поскольку оно задается на конечном интервале, имеет два параметра формы и лучше остальных распределений подходит для описывания дотаций. Для инвестиций ( $In$ ), поскольку их можно рассматривать в виде мультипликативной функции, было выбрано логнормальное распределение.

Рассматривая исходные данные в виде случайных величин с коэффициентом вариации от 7% до 10%, были получены следующие параметры моделирования величин:

величина  $K$  распределена по нормальному закону с числовыми характеристиками  $m_k = 2948,4$  и  $s_k = 294,84$  –  $N(m_k, s_k)$ ;

величина  $X$  распределена по нормальному закону с числовыми характеристиками  $m_x = 0,669$  и  $s_x = 0,054$  –  $N(m_x, s_x)$ ;

величина  $Y$  распределена по закону гамма-распределения с числовыми характеристиками  $m_y = 1,492$  и  $s_y = 0,104$  –  $G(m_y, s_y)$ ;

величина  $D$  распределена по закону бета-распределения с числовыми характеристиками  $m_d = 173,7$ ;  $s_d = 17,37$ ;  $a = 144,2$  и  $b = 203,2$  –  $B(m_d, s_d)$ ;

величина  $Q$  распределена по закону Бирнбаума-Саундерса с числовыми характеристиками  $m_q = 4243,6$  и  $s_q = 424,36$  –  $BS(m_q, s_q)$ ;

величина  $In$  распределена по закону логарифмически-нормального распределения с числовыми характеристиками  $m_{in} = 400$  и  $s_{in} = 40$  –  $LN(m_{in}, s_{in})$ .

Исследование показателей эффективности (2.11-2.27) реализовано в программном комплексе в виде четырех задач, описанных в параграфе 2.5.

#### *Результаты моделирования тестового примера*

В результате моделирования были получены следующие значения показателей эффективности:

1) оценка математического ожидания величины точки безубыточности  $Q_0$  (2.11) равна 3438,303 млн. пасс-км., доверительный интервал для математического ожидания (3425,955 – 3450,65). Расчет точки безубыточности по средним значениям равен 3371,446 и не попадает в доверительный интервал. Это обусловлено тем, что случайность исходных данных статистически значимо увеличивает значение точки безубыточности, и, следовательно, для расчета значений показателей эффективности необходимо использовать вероятностный подход.

Оценка математического ожидания величины вложенного дохода на единицу пассажирооборота  $Z$  (2.11) равна 0,823 млн. руб. / млн. пасс-км., доверительный интервал для математического ожидания (0,821 – 0,825).

На рис. 3.1 показано графическое отображение результатов выполнения задачи «Моделирование точки безубыточности и вложенного дохода на единицу продукции».

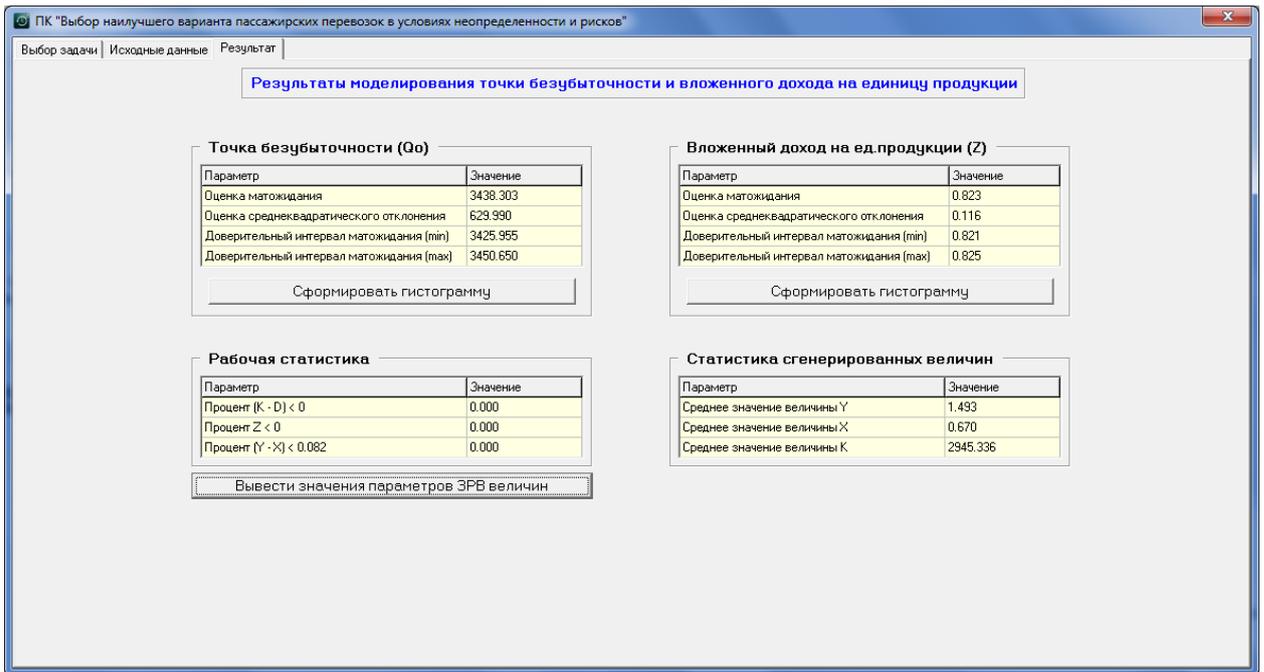


Рис. 3.1. Форма отображения результатов выполнения задачи «Моделирование точки безубыточности и вложенного дохода на единицу продукции»

На рис. 3.2 и рис. 3.3 показаны гистограммы относительных частот точки безубыточности и вложенного дохода на единицу пассажирооборота.

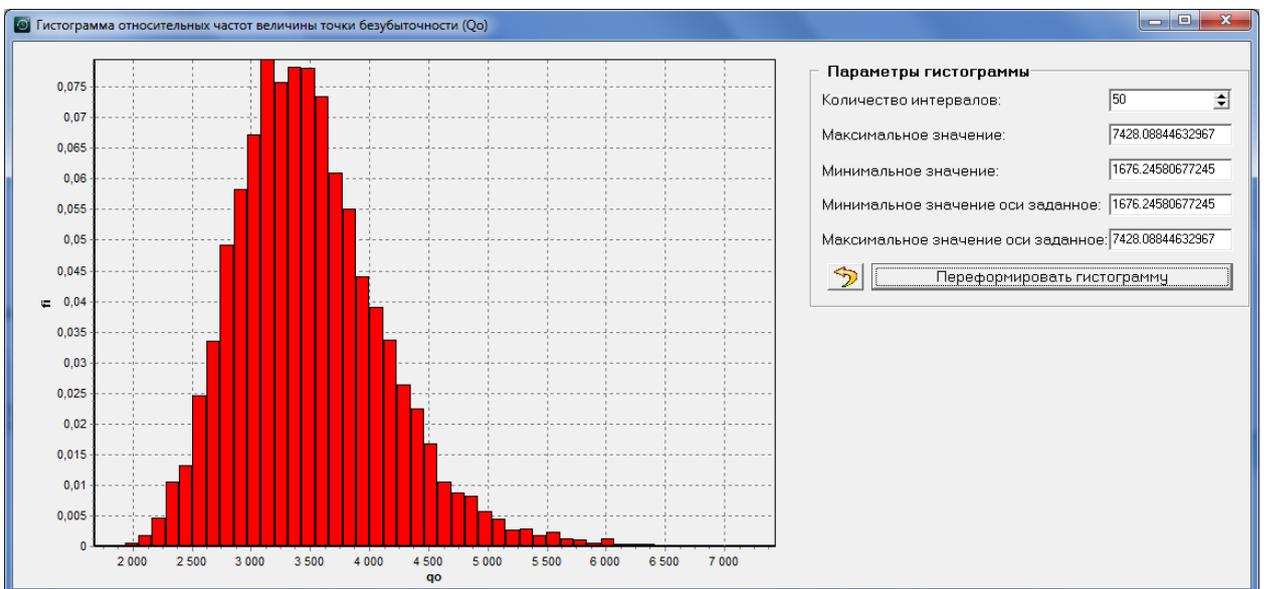


Рис. 3.2. Гистограмма относительных частот точки безубыточности

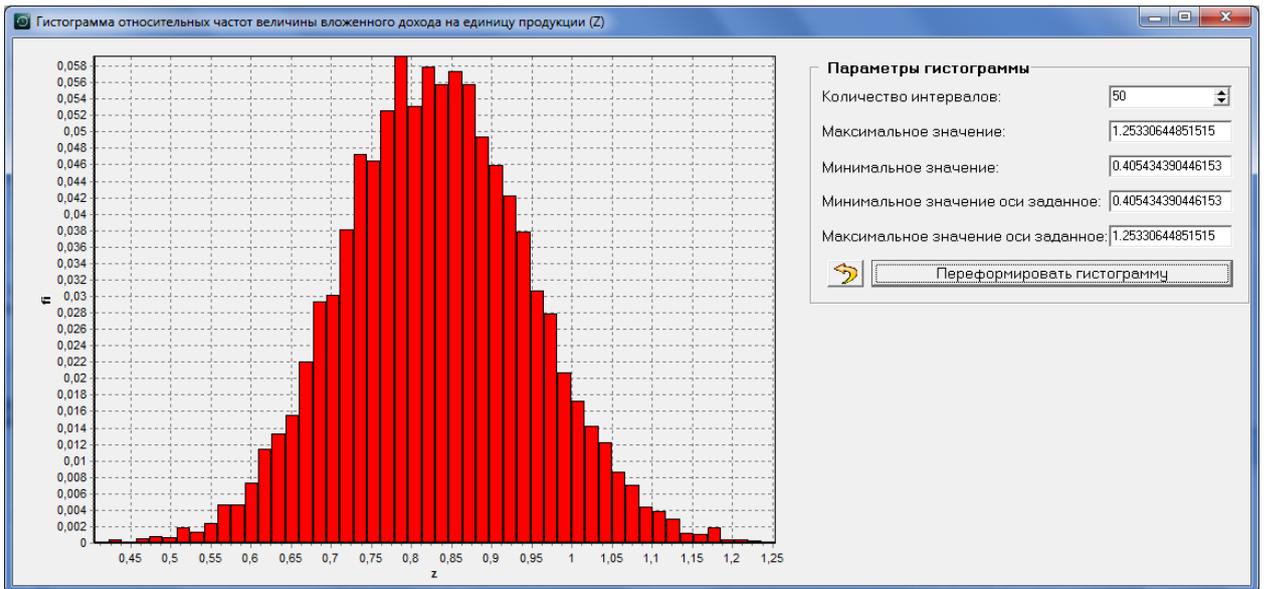


Рис. 3.3. Гистограмма относительных частот вложенного дохода на единицу пассажирооборота

На форме отображения результатов выполнения задачи, для контроля корректности работы генератора случайных величин, выведена статистика сгенерированных величин (средние значения величин  $Y$ ,  $X$ ,  $K$ ). Получено среднее значение величины  $Y$  равное 1,493 при заданном  $m_y = 1,492$ . Получено среднее значение величины  $X$  равное 0,670 при заданном  $m_x = 0,669$ . Получено среднее значение величины  $K$  равное 2945,336 при заданном  $m_k = 2948,4$ . Следовательно, можно сделать вывод, что генератор случайных величин работает корректно.

Для контроля корректности заданных параметров моделирования величин на форме отображения результатов выводится рабочая статистика генерирования: процент сгенерированных значений величин, при которых  $(K - D) < 0$ ,  $Z < 0$  и  $(Y - X) < 0,082$ . При текущих параметрах моделирования процент таких величин равен 0.

Помимо этого, имеется возможность вывода значений параметров законов распределения вероятностей (ЗРВ), использованных при генерировании значений величин. Для этого необходимо на форме отображения резуль-

татов выполнения задачи нажать кнопку «Вывести значения параметров ЗРВ величин» (рис. 3.4).

Величина Y		Величина X		Величина K	
Параметр	Значение	Параметр	Значение	Параметр	Значение
Alpha	205.812	Alpha	0.669	Alpha	2948.400
Beta	137.944	Beta	0.054	Beta	294.840

Величина D	
Параметр	Значение
Alpha	0.942
Beta	0.942

Рис. 3.4. Форма отображения значений параметров ЗРВ исходных величин

Значения параметров можно использовать для проверки корректности работы блока преобразования числовых характеристик ЗРВ в их параметры.

2) оценка математического ожидания величины операционной прибыли  $OP$  (2.13) равна 717,302 млн. руб., доверительный интервал для математического ожидания (703,787 – 730,818). Фактическая прибыль ВСФ в 2012 году составила 716,96 млн. руб. Данное значение прибыли попадает в доверительный интервал, что доказывает адекватность созданной моделирующей программы.

Оценка математического ожидания величины вложенного дохода  $CM$  (2.12) равна 3668,455 млн. руб., доверительный интервал для математического ожидания (3656,340 – 3680,571).

Оценка математического ожидания величины операционного рычага  $OR$  (2.15) равна 5,114, доверительный интервал для математического ожидания (5,033 – 5,196).

Оценка величины запаса безопасности в натуральных единицах  $ZBN$  (2.17) равна 0,179 млн. пасс-км., доверительный интервал (0,176 – 0,183).

Оценка величины запаса безопасности в стоимостном исчислении  $ZBY$  (2.18) равна 1235,227 млн. руб., доверительный интервал (1211,825 – 1258,63).

Оценка величины запаса безопасности в процентах  $ZB$  (2.19) равна 18,760%.

Оценка вероятности риска по показателю вложенного дохода  $RCM$  (2.20) при заданном вложенном доходе 2948,4 млн. руб. равна 0,111, доверительный интервал (0,105 – 0,117). Данный риск характеризует вероятность того, что полученный вложенный доход будет меньше заданного значения. Заданное значение вложенного дохода было выбрано равным сумме постоянных затрат  $K$  чтобы определить таким образом вероятность того, что операционная прибыль  $OP$  будет нулевой.

Оценка вероятности риска по показателю запаса безопасности в натуральных единицах  $RZBN$  (2.21) при заданном запасе безопасности в натуральных единицах равном 0 млн. пасс-км. равна 0,145, доверительный интервал (0,138 – 0,151). Данный риск характеризует вероятность того, что полученный запас безопасности в натуральных единицах будет меньше заданного значения.

Оценка вероятности риска по показателю запаса безопасности в стоимостном исчислении  $RZBY$  (2.22) при заданном запасе безопасности в стоимостном исчислении равном 0 млн. руб. равна 0,144, доверительный интервал (0,138 – 0,151). Данный риск характеризует вероятность того, что полученный запас безопасности в стоимостном исчислении будет меньше заданного значения.

На рис. 3.5 показано графическое отображение результатов выполнения задачи «Моделирование операционной прибыли, вложенного дохода, операционного рычага и запаса безопасности».

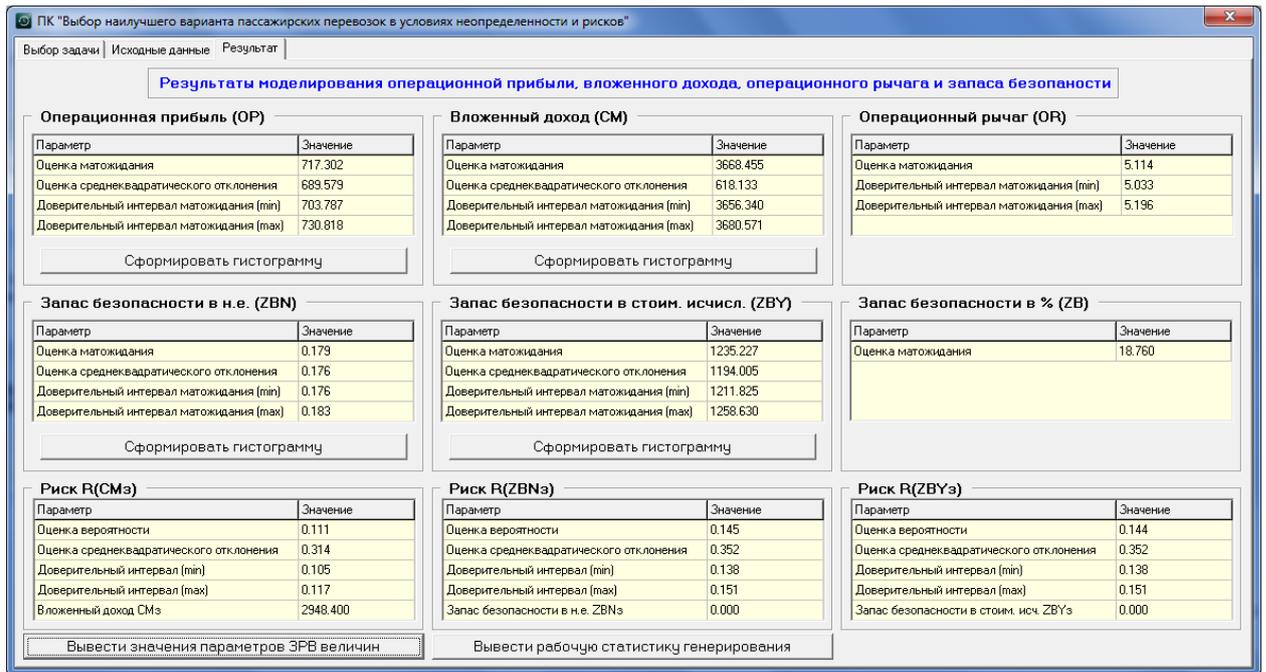


Рис. 3.5. Форма отображения результатов выполнения задачи «Моделирование операционной прибыли, вложенного дохода, операционного рычага и запаса безопасности»

На рис. 3.6, рис. 3.7 и рис. 3.8 показаны гистограммы относительных частот операционной прибыли, вложенного дохода и запаса безопасности в натуральных единицах (млн. пасс-км.).

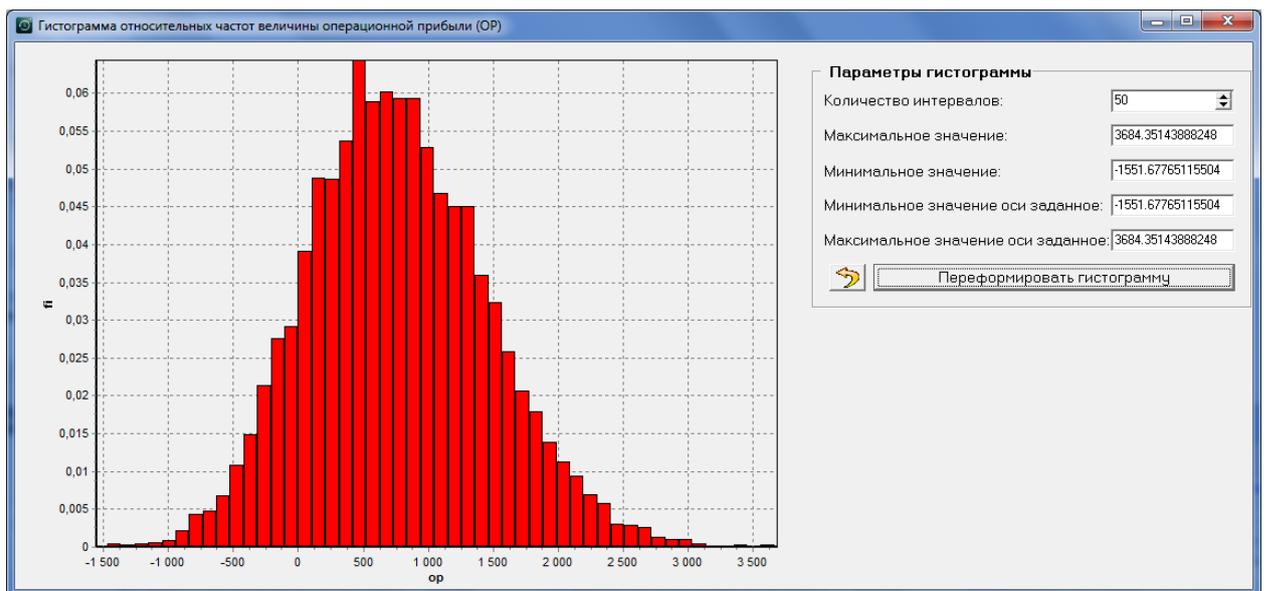


Рис. 3.6. Гистограмма относительных частот операционной прибыли

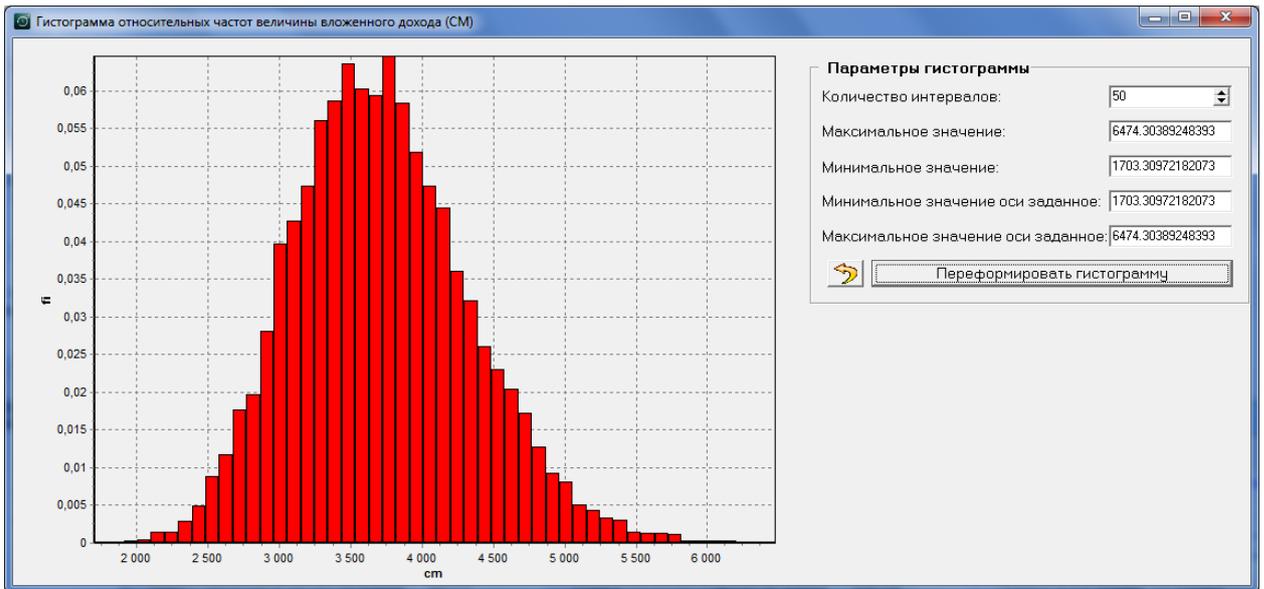


Рис. 3.7. Гистограмма относительных частот вложенного дохода

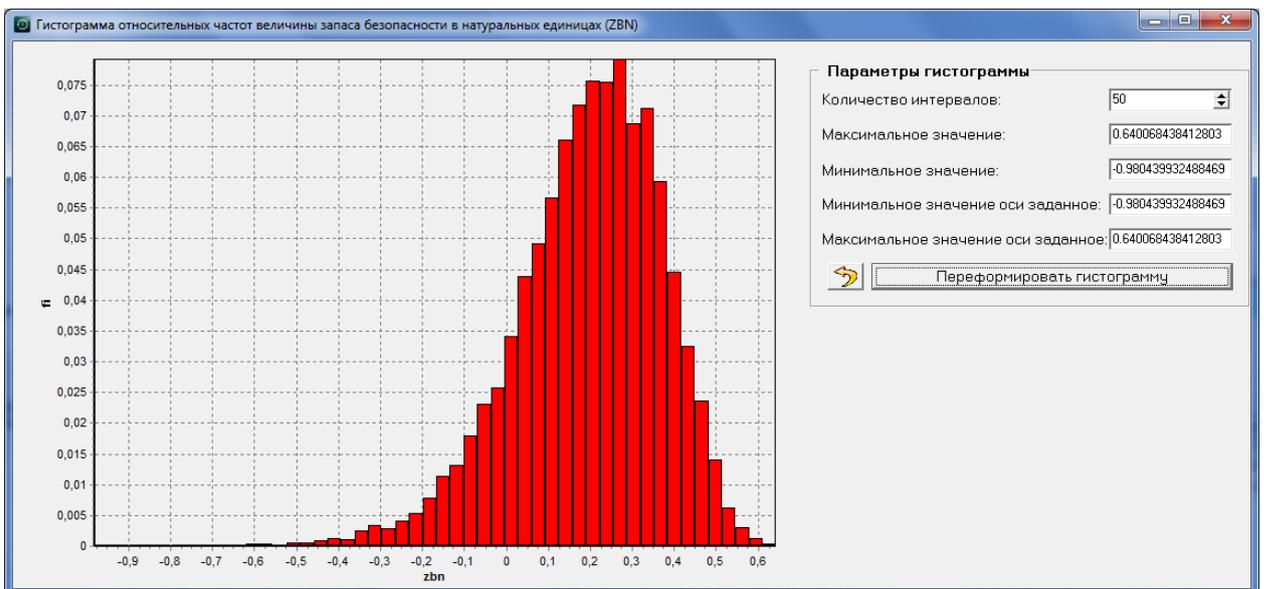


Рис. 3.8. Гистограмма относительных частот запаса безопасности в натуральных единицах

При нажатии на кнопку «Вывести рабочую статистику генерирования» на форме отображения результатов выполнения задачи выводится соответствующая форма (рис. 3.9).

Рабочая статистика		Статистика сгенерированных величин		Статистика сгенерированных величин	
Параметр	Значение	Параметр	Значение	Параметр	Значение
Процент $(K - D) < 0$	0.000	Среднее значение величины Y	1.493	Среднее значение величины Q	4239.956
Процент $(Y - X) < 0.082$	0.000	Среднее значение величины X	0.669	Среднее значение величины D	173.952
Кэф. коррел. между CM и OP	0.902	Среднее значение величины K	2951.153	Среднее значение величины Qo	3444.552

Рис. 3.9. Форма отображения рабочей статистики генерирования величин

Оценка коэффициента корреляции между  $CM$  и  $OP$  (2.14) равна 0,902.

3) оценка операционного риска  $ROP$  (2.24) при заданной операционной прибыли равной 0 равна 0,143, доверительный интервал для операционного риска (0,136 – 0,149). При таком значении заданной операционной прибыли операционный риск характеризует вероятность убытка, поскольку показывает вероятность того, что полученная операционная прибыль будет меньше заданного значения.

Оценка коэффициента вариации операционной прибыли  $v_{op}$  (2.23) равна 94,434%. Значение операционной прибыли имеет такой значительный разброс из-за случайности значений исходных данных (коэффициент вариации исходных данных составляет от 7% до 10%).

На рис. 3.10 показано графическое отображение результатов выполнения задачи «Моделирование операционного риска».

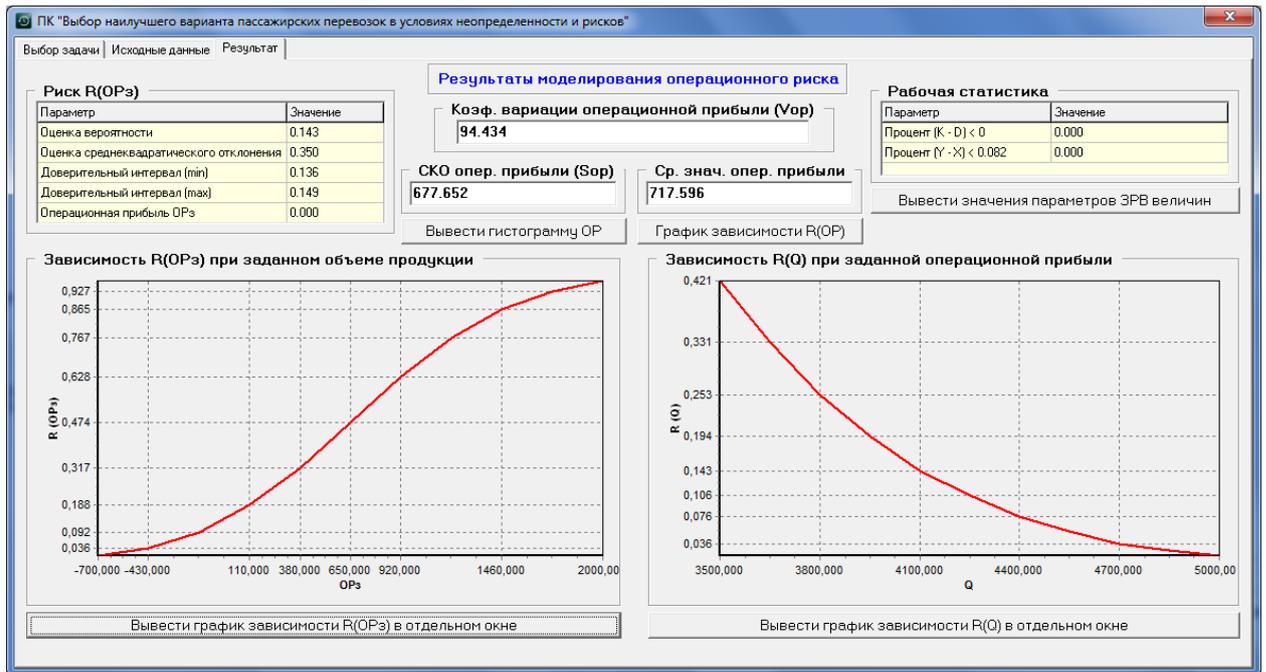


Рис. 3.10. Форма отображения результатов выполнения задачи «Моделирование операционного риска»

На форме отображения результатов выполнения задачи имеется возможность вывода гистограммы относительных частот операционной прибыли, по нажатию на кнопку «Вывести гистограмму OP».

На форме отображения результатов выполнения задачи выводится графическая зависимость операционного риска от значения операционной прибыли при заданном пассажиропотоке, которая может быть выведена в отдельное окно просмотра по нажатию на кнопку «Вывести график зависимости R(OPз) в отдельном окне» (рис. 3.11). Также выводится графическая зависимость операционного риска от пассажирооборота при заданной операционной прибыли, которая может быть выведена в отдельное окно просмотра по нажатию на кнопку «Вывести график зависимости R(Q) в отдельном окне» (рис. 3.12).

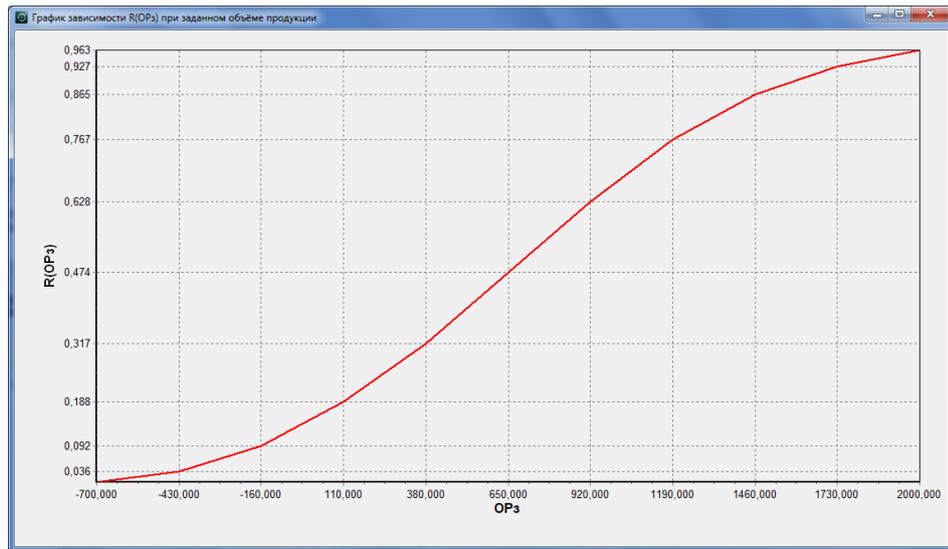


Рис. 3.11. График зависимости операционного риска от операционной прибыли при заданном пассажирообороте

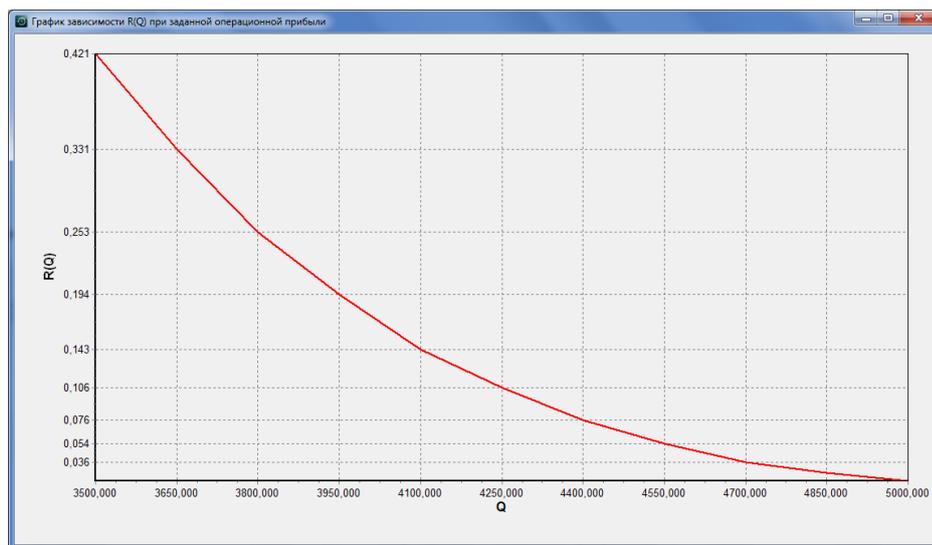


Рис. 3.12. График зависимости операционного риска от пассажирооборота при заданной операционной прибыли

При нажатии на кнопку «График зависимости R(OP)» на форме отображения результатов выполнения задачи выводится трехмерный график зависимости операционного риска от пассажирооборота и операционной прибыли. График может быть представлен как в виде точек (рис. 3.13), так и в виде поверхности (рис. 3.14).

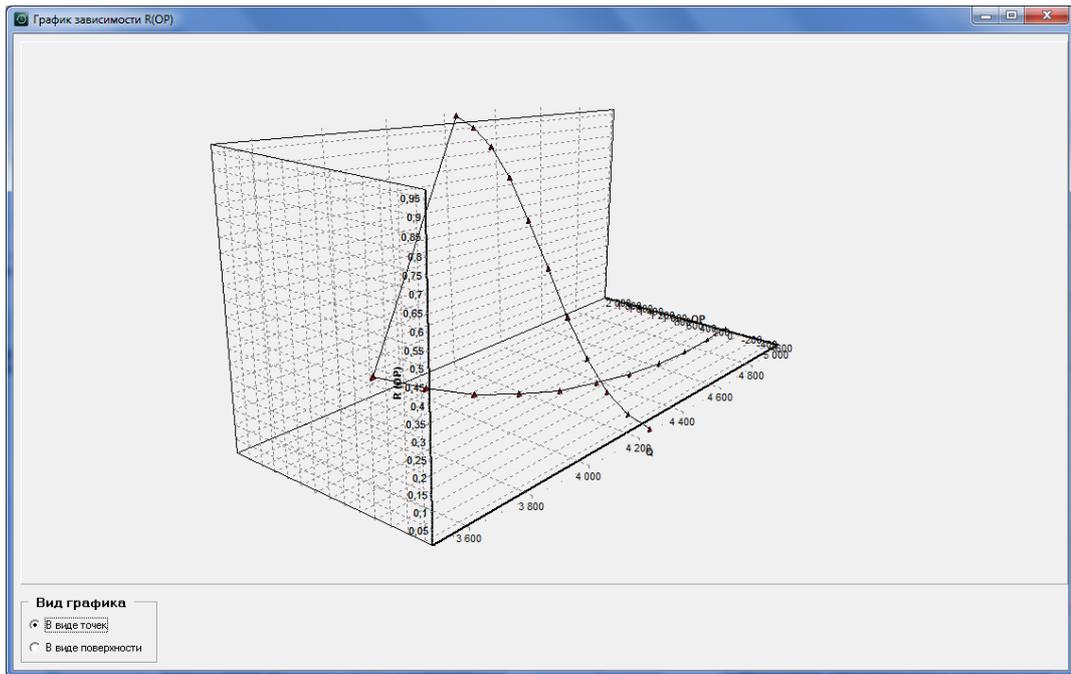


Рис. 3.13. График зависимости операционного риска от пассажирооборота и операционной прибыли в виде точек

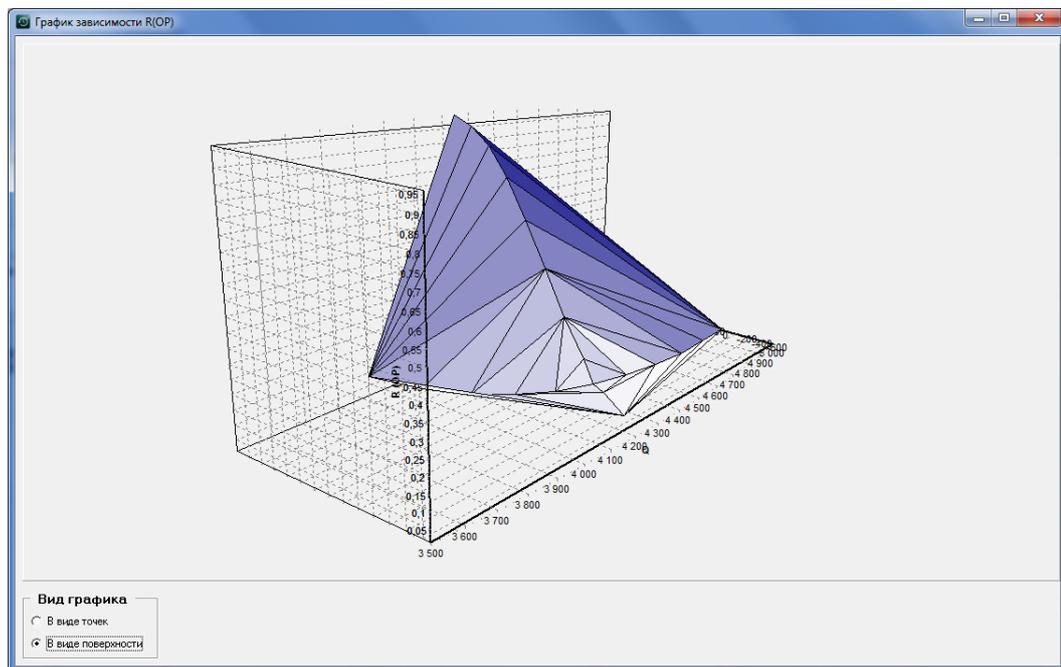


Рис. 3.14. График зависимости операционного риска от пассажирооборота и операционной прибыли в виде поверхности

4) оценка математического ожидания показателя рентабельности инвестиций  $ROI$  (2.26) равна 181,6%, доверительный интервал для математического ожидания (178,271 – 184,929).

Оценка показателя риска по рентабельности инвестиций  $RROI$  (2.27) при заданной рентабельности инвестиций 15% равна 0,158, доверительный интервал (0,151 – 0,165).

Оценка математического ожидания величины срока окупаемости инвестиций  $TO$  (2.25) равна 0,5 года, доверительный интервал для математического ожидания (0,547 – 0,567).

На рис. 3.15 показано графическое отображение результатов выполнения задачи «Моделирование показателя рентабельности инвестиций».

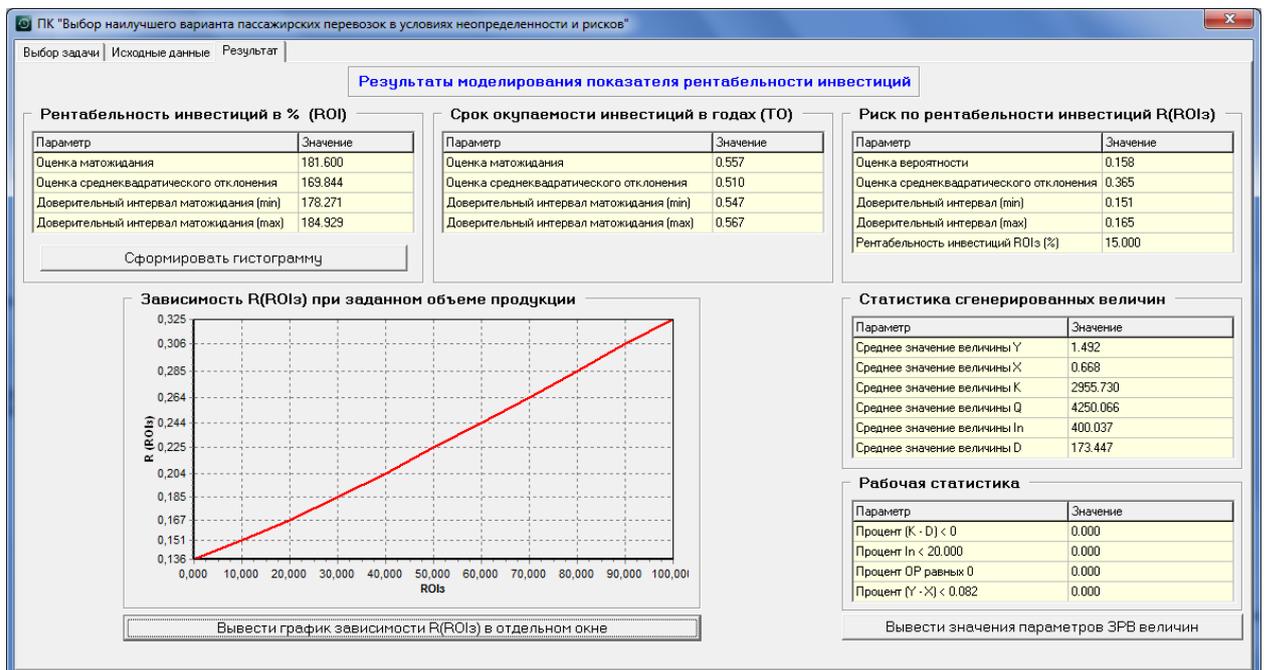


Рис. 3.15. Форма отображения результатов выполнения задачи «Моделирование показателя рентабельности инвестиций»

На форме отображения результатов выполнения задачи имеется возможность вывода гистограммы относительных частот величины рентабельности инвестиций, по нажатию на кнопку «Сформировать гистограмму» (рис. 3.16).

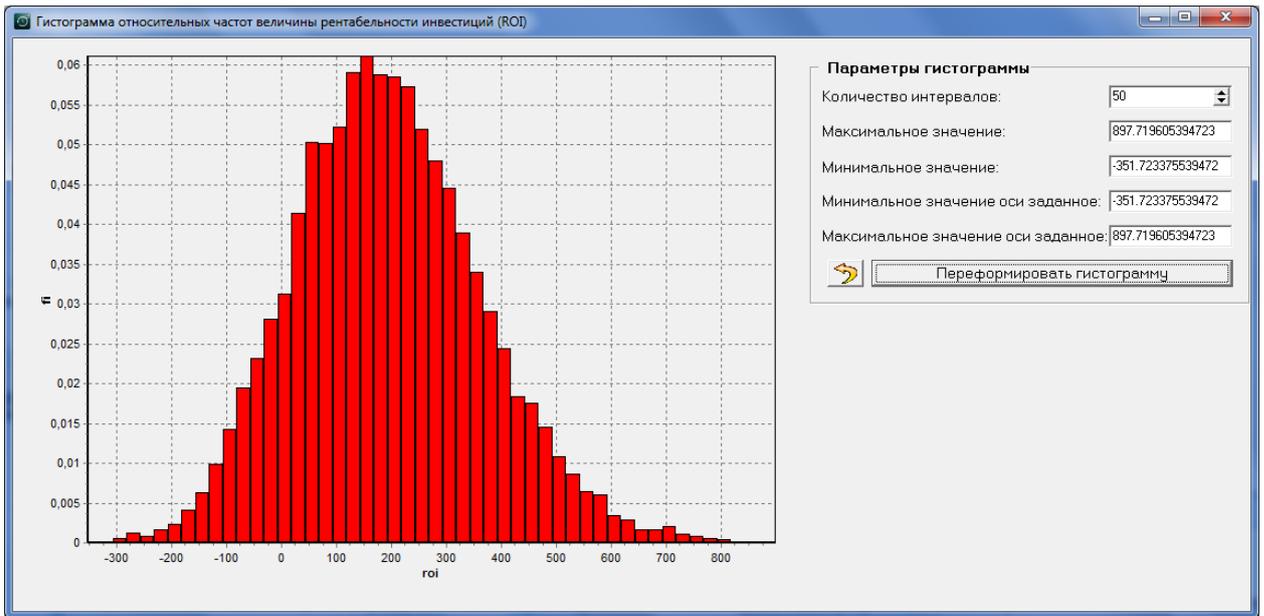


Рис. 3.16. Гистограмма относительных частот рентабельности инвестиций

На форме отображения результатов выполнения задачи выводится графическая зависимость риска по показателю рентабельности инвестиций от значения рентабельности инвестиций, которая может быть выведена в отдельное окно просмотра по нажатию на кнопку «Вывести график зависимости  $R(ROI_i)$  в отдельном окне» (рис. 3.17).

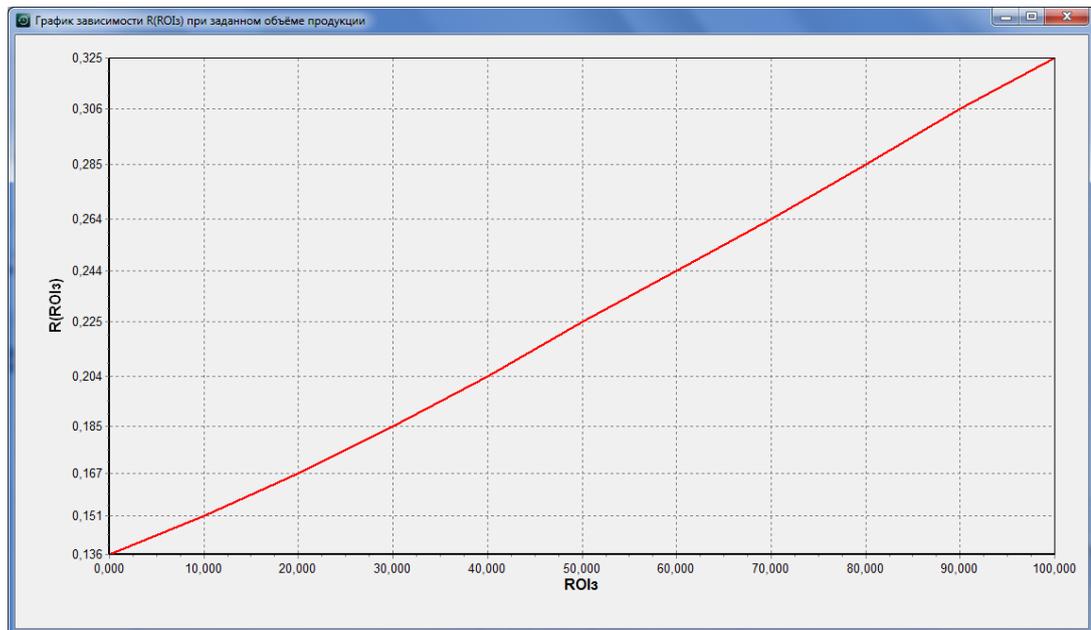


Рис. 3.17. График зависимости риска по показателю рентабельности инвестиций от рентабельности инвестиций

*Выводы*

Проведена экспериментальная проверка разработанной моделирующей программы по данным Восточно-Сибирского филиала ФПК ОАО «РЖД» за 2012 год. Апробация показала работоспособность моделирующей программы и ее адекватность. Моделирующая программа оснащена различными инструментами для графического отображения результатов моделирования: гистограммы относительных частот величин, двухмерные и трехмерные графики зависимости величин, возможность вывода графических данных в отдельных окнах. На формах отображения результатов моделирования задач также отображается статистика сгенерированных величин и рабочая статистика, которые позволяют проверить корректность полученных результатов и правильность работы программы. Помимо этого, для проверки корректности работы блока преобразования числовых характеристик ЗРВ в их параметры, имеется возможность вывода полученных значений параметров. Все это делает программу удобной и простой в использовании, позволяя представлять полученные данные в различных видах и контролировать их адекватность.

Результат экспериментальной проверки показал, что случайность исходных данных приводит к увеличению значения точки безубыточности относительно полученного на основании средних значений значения. Также, за счет случайности исходных данных значительно увеличивается коэффициент вариации операционной прибыли и значение операционного риска. Все это обосновывает необходимость использования имитационной модели основанной на методе Монте-Карло для расчета значений показателей эффективности пассажирских перевозок. К преимуществам данного подхода можно отнести учет неопределенности исходных данных и количественную оценку показателей эффективности.

### 3.3. Апробация главной задачи

Апробация разработанного программного комплекса «Выбор наилучшего варианта пассажирских перевозок в условиях неопределенности и рисков» для решения задачи выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок была выполнена по данным Восточно-Сибирского филиала ФПК ОАО «РЖД» за 2012 год. На основе данных, которые использовались при проверке моделирующей программы, экспертами было сформировано 4 варианта пассажирских перевозок (таблица 3.6):

1) базовый вариант, основанный на исходных данных ВСФ за 2012 год;

2) цена единицы пассажирооборота ( $Y$ ) уменьшена на 5%, а пассажирооборот ( $Q$ ) увеличен на 10%. Данный вариант сформирован из предположения об увеличении пассажирооборота на 10% при снижении стоимости проезда;

3) цена единицы пассажирооборота ( $Y$ ) уменьшена на 5%, а пассажирооборот ( $Q$ ) увеличен на 5%. Данный вариант сформирован из предположения об увеличении пассажирооборота на 5% при снижении стоимости проезда;

4) цена единицы пассажирооборота ( $Y$ ) увеличена на 5%, переменные затраты на единицу пассажирооборота ( $X$ ) увеличены на 1%, пассажирооборот ( $Q$ ) уменьшен на 5%. Данный вариант сформирован из предположения об уменьшении пассажирооборота на 5% при увеличении стоимости проезда и переменных затрат.

## Сформированные варианты пассажирских перевозок

Величина	Вариант 1 (А)		Вариант 2 (Б)		Вариант 3 (В)		Вариант 4 (Г)	
	Базовый		Y ↓ 5% Q ↑ 10%		Y ↓ 5% Q ↑ 5%		Y ↑ 5% X ↑ 1% Q ↓ 5%	
	ЗР В	Хар-ки	ЗР В	Хар-ки	ЗР В	Хар-ки	ЗР В	Хар-ки
<i>K</i>	N	$m_k=2948,4$ $s_k=294,84$	N	$m_k=2948,4$ $s_k=294,84$	N	$m_k=2948,4$ $s_k=294,84$	N	$m_k=2948,4$ $s_k=294,84$
<i>X</i>	N	$m_x=0,669$ $s_x=0,054$	N	$m_x=0,669$ $s_x=0,054$	N	$m_x=0,669$ $s_x=0,054$	N	$m_x=0,676$ $s_x=0,054$
<i>Y</i>	G	$m_y=1,492$ $s_y=0,104$	G	$m_y=1,417$ $s_y=0,099$	G	$m_y=1,417$ $s_y=0,099$	G	$m_y=1,567$ $s_y=0,11$
<i>D</i>	B	$m_d=173,7$ $s_d=17,37$ $a=144,2$ $b=203,2$	B	$m_d=173,7$ $s_d=17,37$ $a=144,2$ $b=203,2$	B	$m_d=173,7$ $s_d=17,37$ $a=144,2$ $b=203,2$	B	$m_d=173,7$ $s_d=17,37$ $a=144,2$ $b=203,2$
<i>Q</i>	BS	$m_q=4243,6$ $s_q=424,36$	BS	$m_q=4667,9$ $s_q=466,79$	BS	$m_q=4455,8$ $s_q=445,58$	BS	$m_q=4031,4$ $s_q=403,14$
<i>In</i>	L N	$m_{in}=400$ $s_y=40$	LN	$m_{in}=400$ $s_y=40$	L N	$m_{in}=400$ $s_y=40$	L N	$m_{in}=400$ $s_y=40$

## 3.3.1. Обоснование объема выборки

В связи с тем, что значения показателей эффективности получаются методом Монте-Карло и определяются не сами значения показателей, а их оценки, которые являются случайными величинами, обоснуем объем выборки, при котором сравнение вариантов будет считаться корректным.

Предположим, что достаточный объем выборки  $n$  будет равен 10000 и выполним проверку данного предположения.

В результате моделирования значений показателей эффективности для всех четырех вариантов перевозок и проверки достаточности объема выборки был определен минимальный достаточный объем выборки равный 3999 (рис. 3.18). На основании этого был сделан вывод о достаточности объема выборки равном 10000 для последующего сравнения вариантов.

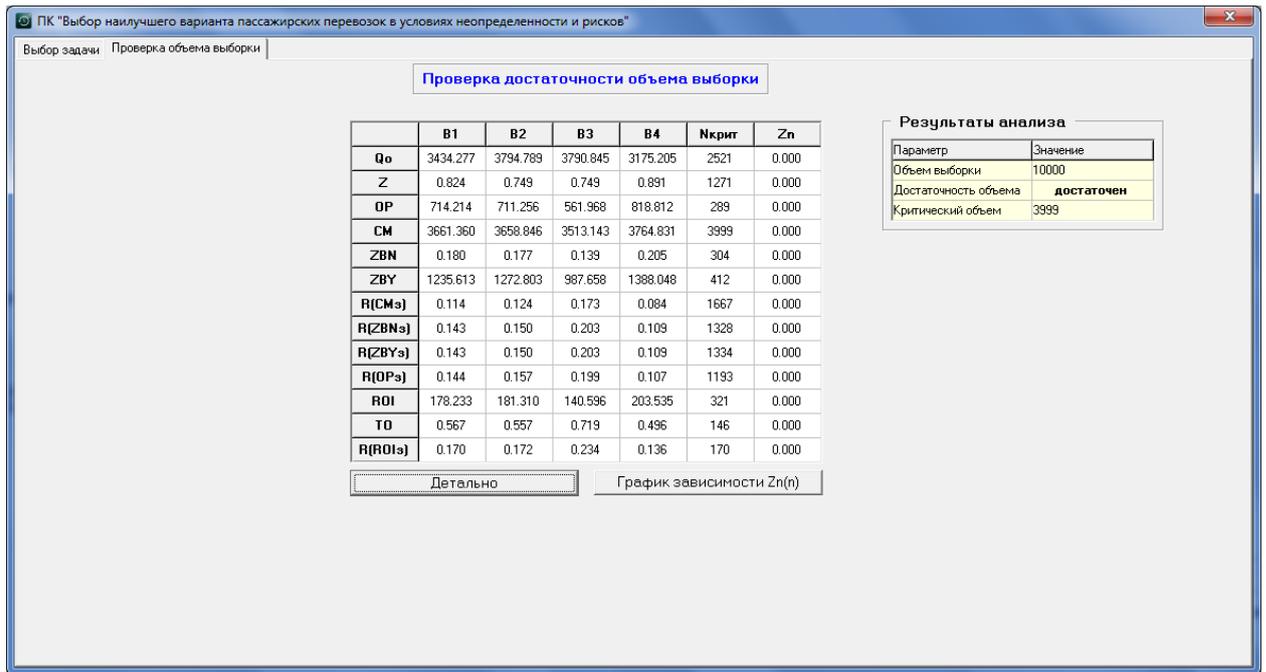


Рис. 3.18. Результаты проверки достаточности объема выборки

На форме отображения результатов проверки достаточности объема выборки имеется возможность вывода детальных расчетов по каждому показателю эффективности. Для этого необходимо выделить строку с данными нужного показателя и нажать кнопку «Детально» (рис. 3.19).

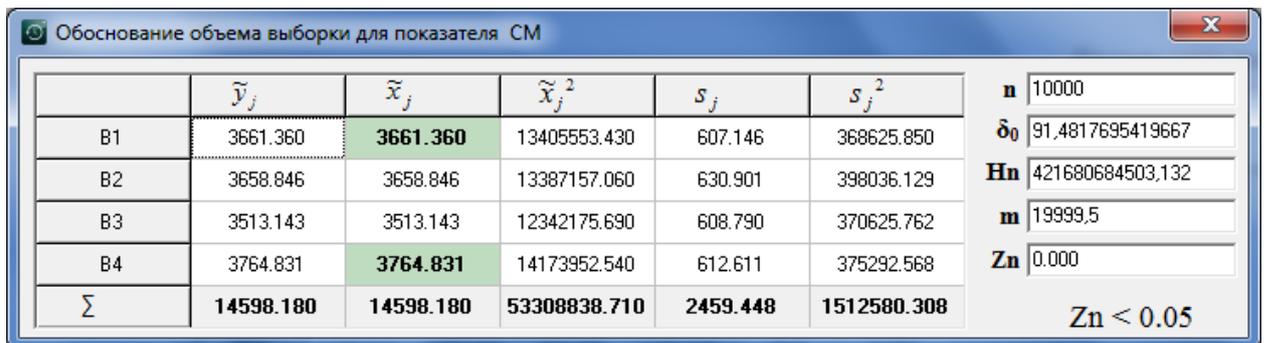
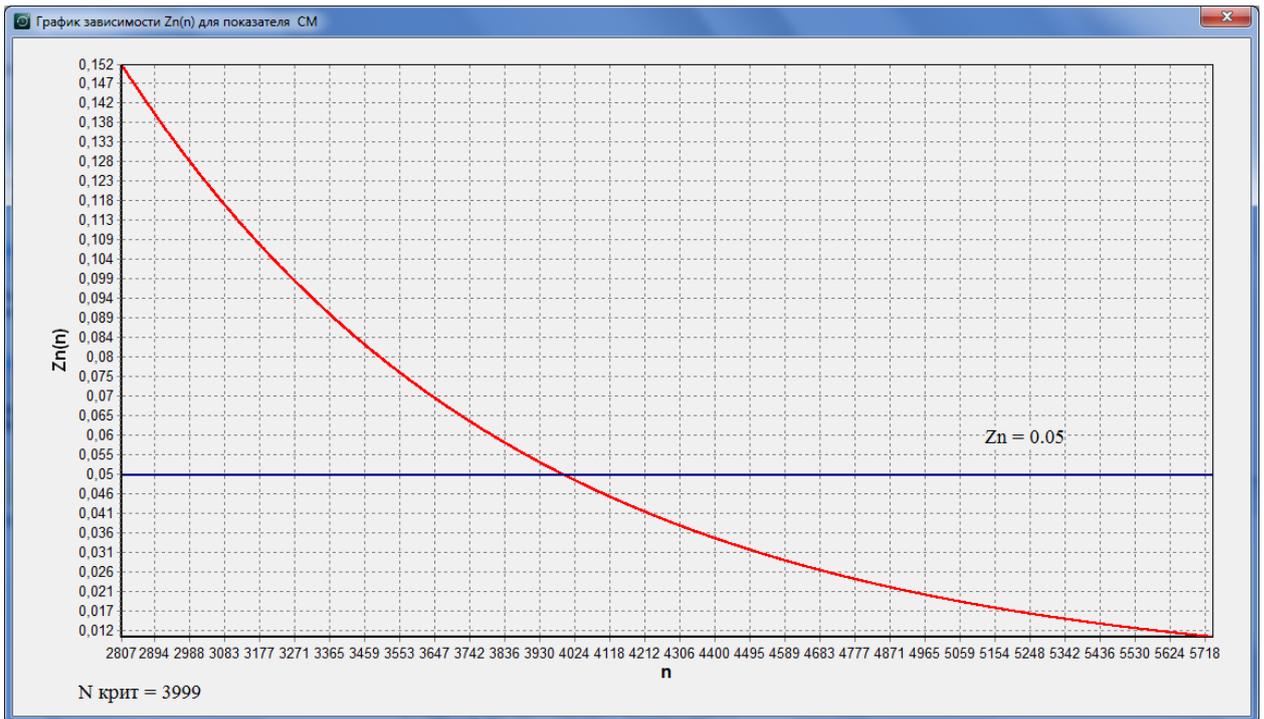


Рис. 3.19. Форма детальных расчетов проверки достаточности объема выборки

Кроме этого, можно вывести график зависимости  $Zn(n)$  для каждого показателя эффективности и увидеть критическое значение объема выборки для него. Для этого необходимо выделить строку с данными нужного показателя и нажать кнопку «График зависимости  $Zn(n)$ » (рис. 3.20).

Рис. 3.20. График зависимости  $Z_n(n)$ 

### 3.3.2. Вычисление показателей эффективности

На основании данных каждого варианта пассажирских перевозок были получены следующие значения показателей эффективности:

Показатели эффективности вариантов пассажирских перевозок

Показатель	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
$Q_0$	3434,277	3794,789	3790,845	3175,205
$Z$	0,824	0,749	0,749	0,891
$OP$	714,214	711,256	561,968	818,812
$CM$	3661,36	3658,846	3513,143	3764,831
$OR$	5,126	5,144	6,252	4,598
$ZBN$	0,18	0,177	0,139	0,205
$ZBY$	1235,613	1272,803	987,658	1388,048
$ZB$	18,768	18,494	14,806	21,279
$RCM$	0,114	0,124	0,173	0,084
$RZBN$	0,143	0,15	0,203	0,109
$RZBY$	0,143	0,15	0,203	0,109
$ROP$	0,144	0,157	0,199	0,107
$V_{op}$	95,178	98,601	118,099	83,761
$S_{op}$	677,392	697,532	659,238	674,577
$ROI$	178,233	181,31	140,596	203,535
$TO$	0,567	0,557	0,719	0,496
$RROI$	0,17	0,172	0,234	0,136

Для дальнейшего анализа вариантов пассажирских перевозок из полученных показателей эффективности были отобраны показатели, отражающие риск не достижения заданных значений показателей эффективности: риск по показателю вложенного дохода ( $RCM$ ), риск по показателю запаса безопасности в натуральных единицах измерения ( $RZBN$ ), риск по показателю запаса безопасности в стоимостном исчислении ( $RZBY$ ), операционный риск ( $ROP$ ) и риск по показателю рентабельности инвестиций ( $RROI$ ).

Из отобранных показателей риска необходимо оставить только те, значения которых существенно зависят от варианта пассажирских перевозок. Для этого будет использоваться модуль «Проверка значимости показателей риска» разработанного программного комплекса. Работа данного модуля основана на использовании метода дисперсионного анализа. В процессе работы модуля по каждому показателю риска на основании полученных значений проверяется гипотеза об однородности дисперсий по критерию Кокрена

(2.80) (2.81), а также вычисляется отношение  $F_{рас}$ , которое потом сравнивается с критическим значением  $F_{крит}$ . Если  $F_{рас} < F_{крит}$ , то показатель риска считается не значимым. Результаты проверки значимости по каждому показателю отображаются на специальной форме (рис. 3.21)

Однофакторный дисперсионный анализ

Опыты

Варианты	1	2	3	4	5	$\bar{y}_i$	$s_i^2$
1	0,112	0,111	0,113	0,113	0,113	<b>0,112</b>	<b>0</b>
2	0,119	0,121	0,121	0,127	0,13	<b>0,124</b>	<b>0</b>
3	0,18	0,179	0,173	0,171	0,178	<b>0,176</b>	<b>0</b>
4	0,08	0,08	0,083	0,081	0,081	<b>0,081</b>	<b>0</b>

Сумма квадратов	Степени свободы	Средние квадраты	F отношение
SA = 0,024	a-1 = 3	MA = 0,008	Fрас = 788,375
SD = 0	N-a = 16	MD = 0	
SS = 0,024	N-1 = 19		

Вычислить

Gr = 0,548 ; Gкр = 0,629  
Gr < Gкр (дисперсии однородны)  
 $s^2 = 0$ ;  $\bar{y} = 0,123$ ; Fкр = 3,24  
**Fрас > Fкр - фактор значим**

Рис. 3.21. Форма отображения результата проверки значимости показателя

В результате проверки значимости отобранных показателей риска было установлено, что все они значимы и, следовательно, все могут быть использованы для выбора варианта пассажирских перевозок (таблица 3.8).

Таблица 3.8

Результаты проверки значимости показателей риска

	$F_{крит}$	$F_{рас}$	Значимость
<i>RCM</i>	3,24	788,38	Значим
<i>RZBN</i>	3,24	858,45	Значим
<i>RZBY</i>	3,24	875,66	Значим
<i>ROP</i>	3,24	650,27	Значим
<i>RROI</i>	3,24	470,65	Значим

### 3.3.3. Выбор наилучшего варианта пассажирских перевозок

Выбор наилучшего варианта пассажирских перевозок осуществляется при помощи процедуры двухэтапного ранжирования. На первом этапе, в зависимости от выбранной технологии, определяется либо наиболее значимый показатель, либо интегральный показатель по каждому варианту пассажир-

ских перевозок. На втором этапе, выбирается наиболее существенный вариант перевозок по экстремальному значению либо наиболее значимого показателя, либо интегрального показателя.

В данной работе предлагается подход, когда на первом этапе происходит вычисление интегрального показателя по каждому варианту пассажирских перевозок, на основе значений показателей риска и, характеризующих их значимость, весовых коэффициентов. А на втором этапе, выбирается наиболее существенный вариант пассажирских перевозок по экстремальному значению интегрального показателя.

Рассмотрим выбор наилучшего варианта пассажирских перевозок как по предлагаемому подходу, так и, в качестве примера, по альтернативной технологии.

*Выбор наилучшего варианта пассажирских перевозок по экстремальному значению наиболее значимого показателя*

Из достаточно большого числа показателей эффективности экспертами были отобраны следующие: операционная прибыль (*OP*), операционный риск (*ROP*), показатель рентабельности инвестиций (*ROI*), риск по показателю рентабельности инвестиций (*RROI*) и срок окупаемости инвестиций (*TO*).

На первом этапе, для определения наиболее значимого показателя эффективности экспертами была составлена матрица суждений (2.84) относительно важности отобранных показателей (таблица 3.9).

Таблица 3.9

	<i>OP</i>	<i>ROP</i>	<i>ROI</i>	<i>RROI</i>	<i>TO</i>
<i>OP</i>	1	1/3	7	5	3
<i>ROP</i>	3	1	8	6	4
<i>ROI</i>	1/7	1/8	1	1/3	1/5
<i>RROI</i>	1/5	1/6	3	1	1/2
<i>TO</i>	1/3	1/4	5	2	1

Реализуя МАИ был получен вектор весовых коэффициентов (2.86), отражающий степень важности показателей эффективности:

$$w = (0,276; 0,483; 0,035; 0,074; 0,131) \quad (3.1)$$

Наиболее существенным оказался показатель операционного риска ( $ROP$ ), имеющий максимальный весовой коэффициент равный 0,483.

Вычислена количественная оценка относительной согласованности суждений (2.89)  $OS = 0,0556$ . Поскольку полученное значение  $OS \leq 0,1$  считаем, что суждения согласованы.

На втором этапе, был выбран наиболее существенный вариант пассажирских перевозок по экстремальному значению показателя  $ROP$  (2.91).

Таблица 3.10

Значения показателя  $ROP$ 

	<b>Вариант 1</b>	<b>Вариант 2</b>	<b>Вариант 3</b>	<b>Вариант 4</b>
$ROP$	0,144	0,157	0,199	0,107

По показателю  $ROP$  наилучшим вариантом пассажирских перевозок является четвертый, так как он имеет минимальное значение операционного риска равное 0,107.

*Выбор наилучшего варианта пассажирских перевозок по экстремальному значению интегрального показателя*

Для получения весовых коэффициентов экспертами была составлена матрица суждений (2.84) относительно важности отобранных показателей риска (таблица 3.11).

Таблица 3.11

	<i>RCM</i>	<i>RZBN</i>	<i>RZBY</i>	<i>ROP</i>	<i>RROI</i>
<i>RCM</i>	1	0,2	0,25	0,33	0,125
<i>RZBN</i>	5	1	2	3	0,33
<i>RZBY</i>	4	0,5	1	2	0,25
<i>ROP</i>	3	0,33	0,5	1	0,17
<i>RROI</i>	8	3	4	6	1

Реализуя МАИ был получен вектор весовых коэффициентов (2.86), отражающий степень важности показателей риска:

$$w = (0,041; 0,225; 0,142; 0,086; 0,506) \quad (3.2)$$

Наиболее существенным оказался показатель *RROI*, имеющий максимальный весовой коэффициент равный 0,506.

Вычислена количественная оценка относительной согласованности суждений (2.89)  $OS = 0,0246$ . Поскольку полученное значение  $OS \leq 0,1$  считаем, что суждения согласованы.

Используя полученный вектор весовых коэффициентов  $w$  и значения показателей риска (таблица 3.12) вычислим значение интегрального показателя  $P$  (2.90) для каждого варианта пассажирских перевозок.

Таблица 3.12

Значения показателей риска

	<b>Вариант 1</b>	<b>Вариант 2</b>	<b>Вариант 3</b>	<b>Вариант 4</b>
<i>RCM</i>	0,114	0,124	0,173	0,084
<i>RZBN</i>	0,143	0,15	0,203	0,109
<i>RZBY</i>	0,143	0,15	0,203	0,109
<i>ROP</i>	0,144	0,157	0,199	0,107
<i>RROI</i>	0,17	0,172	0,234	0,136

В результате вычислений был получены следующие значения интегрального показателя для каждого варианта пассажирских перевозок:

$$p_1 = 0,156 ; p_2 = 0,161 ; p_3 = 0,217 ; p_4 = 0,121 \quad (3.3)$$

Поскольку для показателей риска экстремальным значением считается наименьшее из имеющихся (2.91), наилучшим из имеющихся вариантов пас-

сажирских перевозок будет считаться вариант № 4 значение интегрального показателя которого равно 0,121.

Результаты выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок отображаются на специальной форме программного комплекса (рис. 3.22).

A	P1	P2	P3	P4	P5
P1	1	0,2	0,25	0,333333	0,125
P2	5	1	2	3	0,333333
P3	4	0,5	1	2	0,25
P4	3	0,333333	0,5	1	0,166667
P5	8	3	4	5,999988	1
<b>W</b>	0,041	0,225	0,142	0,086	0,506
Lmax = 5.1102773		ИС=0.0275693		ОС= 0.0246	

C	1	2	3	4
P1	0,114	0,124	0,173	0,084
P2	0,143	0,15	0,203	0,109
P3	0,143	0,15	0,203	0,109
P4	0,144	0,157	0,199	0,107
P5	0,17	0,172	0,234	0,136
<b>P</b>	0,156	0,161	0,217	<b>0,121</b>

Рис. 3.22. Форма отображения результата выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок

### 3.4. Выводы по главе 3

1. Выполнен анализ работы Восточно-Сибирского филиала Федеральной пассажирской компании ОАО «РЖД», являющегося региональным перевозчиком пассажиров дальнего следования, по объемным (количество перевезенных пассажиров, пассажирооборот, вагонокилометровая работа, использование вместимости по поездам) и финансово-экономическим показателям. Проведен анализ причин увеличения и уменьшения данных показателей. В 2012 году пассажирооборот составил 4243,6 млн. пасс-км, что на 138,5 млн. пасс-км выше 2011 года и совпадает с плановым заданием на 2012 год. Выполненный анализ объекта исследования наглядно продемонстрировал, что ВСФ, оказывающий услуги перевозки пассажиров по маршрутам дальнего следования, является достаточно сложным объектом, состоящим из многих компонентов находящихся в сложной взаимосвязи друг с другом и с внешней средой. В качестве внешней среды выступают другие филиалы

ФПК, другие дирекции по перевозке пассажиров и другие виды транспорта. В качестве особенностей данного объекта исследования можно выделить постоянные структурные изменения при перевозке пассажиров: разработка новых маршрутов или изменение старых, изменение количества вагонов в поезде, изменение структуры вагонов, связанных с комфортностью и скоростью перевозки. Все это обосновывает необходимость инструментального средства, которое позволило бы на основе исходной и экспертной информации оценить показатели эффективности по каждому варианту организации пассажирских перевозок, сравнить их по значениям этих показателей и выбрать наилучший из них.

2. Проведена экспериментальная проверка разработанной моделирующей программы по данным Восточно-Сибирского филиала ФПК ОАО «РЖД» за 2012 год. Апробация показала работоспособность моделирующей программы и ее адекватность. Результат экспериментальной проверки показал, что случайность исходных данных приводит к увеличению значения точки безубыточности относительно полученного на основании средних значений значения. Также, за счет случайности исходных данных значительно увеличивается коэффициент вариации операционной прибыли и значение операционного риска. Все это обосновывает необходимость использования имитационной модели основанной на методе Монте-Карло для расчета значений показателей эффективности пассажирских перевозок. К преимуществам данного подхода можно отнести учет неопределенности исходных данных и количественную оценку показателей эффективности.

3. Проведена апробация разработанного программного комплекса «Выбор наилучшего варианта пассажирских перевозок в условиях неопределенности и рисков» для решения задачи выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок по данным Восточно-Сибирского филиала ФПК ОАО «РЖД» за 2012 год. На основе данных экспертами было сформировано 4 варианта пассажирских перевозок: базовый, вариант увеличения пассажирооборота на 10% при снижении стоимости проезда, вариант увеличения пассажирооборо-

та на 5% при снижении стоимости проезда и вариант уменьшения пассажирооборота на 5% при увеличении стоимости проезда и переменных затрат. Был обоснован объем выборки для получения значений показателей эффективности, при котором сравнение вариантов будет считаться корректным. Определен минимальный достаточный объем выборки равный 3999 и сделан вывод о достаточности объема выборки равном 10000 для последующего сравнения вариантов. Далее, на основании данных каждого варианта пассажирских перевозок, были получены значения показателей эффективности. Для дальнейшего анализа вариантов пассажирских перевозок из полученных показателей эффективности были отобраны показатели риска и выполнена проверка их значимости. Результаты проверки показали, что все показатели риска значимы и могут быть использованы для выбора варианта пассажирских перевозок. Далее, экспертами была составлена матрица суждений относительно важности отобранных показателей (наиболее существенным оказался риск по показателю рентабельности инвестиций) и вычислено значение интегрального показателя для каждого варианта пассажирских перевозок. Наилучшим из имеющихся вариантов оказался вариант №4. Апробация разработанного программного комплекса подтвердила его работоспособность и практическую значимость.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствие с целью и задачами диссертационного исследования:

1. Обоснована необходимость применения вероятностного анализа безубыточности на основе имитационного моделирования применительно к пассажирским перевозкам железнодорожным транспортом, в условиях неопределенности исходных данных. Для задачи управления доходностью пассажирских перевозок дальнего следования регионального уровня принято решение создать собственную моделирующую программу, реализующую вероятностный анализ безубыточности на основе метода Монте-Карло.

2. Разработана постановка задачи выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок по значениям показателей эффективности по каждому из вариантов в условиях неопределенности исходных данных с использованием вероятностного анализа безубыточности на основе имитационного моделирования.

3. Предложено специальное алгоритмическое обеспечение расчета показателей эффективности по каждому варианту пассажирских перевозок с возможностью использования при моделировании исходных данных одного из шести предложенных законов: нормального; усеченного нормального на интервале  $(0, \infty)$ ; бета-распределения на интервале  $(a, b)$ ; гамма-распределения; логарифмически-нормального распределения; распределения Бирнбаума-Саундерса. Для каждого из предложенных законов выбраны алгоритмы моделирования случайных величин. В связи с тем, что алгоритмы зависят от параметров закона, разработаны модели, связывающие параметры закона и его числовые характеристики.

4. Создано алгоритмическое обеспечение обоснования объема выборки используемого при получении оценок показателей эффективности, достаточного для корректного выполнения сравнения вариантов пассажирских перевозок по значениям этих показателей при помощи метода Бехгоффера и

Блюменталя. Помимо этого реализована возможность проверки значимости показателей эффективности при помощи дисперсионного анализа.

5. Создано алгоритмическое обеспечение сравнения вариантов пассажирских перевозок по набору значений показателей эффективности по каждому варианту пассажирских перевозок и выбору наилучшего из них. Значение интегрального показателя для каждого варианта пассажирских перевозок определяется путем линейной свертки с использованием метода анализа иерархий.

6. Создано программное обеспечение выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок – программный комплекс «Выбор наилучшего варианта пассажирских перевозок в условиях неопределенности и рисков», основанный на разработанном алгоритмическом обеспечении вероятностного анализа безубыточности на основе имитационного моделирования и алгоритмического обеспечения сравнения вариантов пассажирских перевозок по набору значений показателей эффективности. Программный комплекс реализован при помощи пакета программирования Borland Delphi 7.0 фирмы-производителя Borland.

7. Проведена экспериментальная проверка разработанной моделирующей программы по данным Восточно-Сибирского филиала ФПК ОАО «РЖД» за 2012 год. Апробация показала работоспособность моделирующей программы и ее адекватность. Результат экспериментальной проверки показал, что случайность исходных данных приводит к увеличению значения точки безубыточности относительно полученного на основании средних значений значения. Также, за счет случайности исходных данных значительно увеличивается коэффициент вариации операционной прибыли и значение операционного риска. Проведена апробация разработанного программного комплекса «Выбор наилучшего варианта пассажирских перевозок в условиях неопределенности и рисков» для решения задачи выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок по данным Восточно-Сибирского филиала ФПК

ОАО «РЖД» за 2012 год. Апробация подтвердила его работоспособность и практическую значимость.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Акопов А.С. Имитационное моделирование: учебник и практикум для академического бакалавриата. – М.: «Юрайт», 2014. - 389 с.
2. Акулов М.П. О создании дочернего общества ОАО «РЖД» в сфере перевозок пассажиров в дальнем следовании // Железнодорожный транспорт. 2010, № 1. с. 22-26.
3. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. - 363 с.
4. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. – М.: Финансы и статистика, 2000. - 368 с.
5. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. М.: Радио и связь, 1988. - 392 с.
6. Балдин К.В., Башлыков В.Н., Рукосуев А.В. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник. – М.: Дашков и К, 2010. - 473 с.
7. Балдин К.В., Передеряев И.И., Голов Р.С. Управление рисками в инновационно-инвестиционной деятельности предприятия: Учебное пособие. – М.: Дашков и К, 2012. - 419 с.
8. Барсегян А.А., Куприяннов М.С., Степаненко В.В., Холод И.И. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. – Спб: БХВ-Петербург, 2004. - 336 с.
9. Белоусов Д.Р. Построение долгосрочного научно-технологического прогноза для России методом «Форсайт» [Текст] / Д.Р. Белоусов, О.Г. Солнцев, М.Ю. Хромов // Проблемы прогнозирования. – 2008. - №1. - с. 18-33.
10. Боровиков В.П. Прогнозирование в системе Statistika в среде Windows [Текст] / В.П. Боровиков, Г.И. Ивченко. - М.: Финансы и статистика, 2000. - 384 с.
11. Брег Стивен. Настольная книга финансового директора: Пер. с англ. – 7-е изд. – М.: Альпина Паблицерз, 2011. - 536 с.

12. Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н. Общая теория рисков: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. - М.: Издательский центр "Академия", 2007. - 368 с.
13. Воржецов А.Г. Основы социального прогнозирования. – Казань: Изд-во КГТУ, 2004. - 116 с.
14. Воронова Е.Ю. Роль анализа безубыточности в системе управленческого аудита // Аудиторские ведомости. – 2005. – №8. с. 55-61.
15. Вяткин В.Н., Гамза В.А., Екатеринославский Ю.Ю., Хэмптон Дж.Дж. Управление риском в рыночной экономике. – М.: Экономика, 2002. - 200 с.
16. Говорухин В. Компьютер в математическом исследовании [Текст] / В. Говорухин, Б. Цибулин. - М.: Мир, 2006. - 619 с.
17. Годовой отчет АО "ФПК", 2014. - 126 с.
18. Головченко В.Б. Прогнозирование временных рядов по разнородной информации. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1999. - 88 с.
19. Головченко В.Б. Прогнозирование с использованием разнородной информации [Текст] / В.Б. Головченко. – Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2005. - 71 с.
20. Головченко В.Б., Носков С.И. Оценивание параметров эконометрической модели по статистической и экспертной информации // Автоматика и телемеханика. – 1991. - №4. с. 123-134.
21. Горев А.Э. Основы теории транспортных систем: учеб. пособие. – СПб.: СПбГАСУ, 2010. - 214 с.
22. Гранберг А.Г. Статистическое моделирование и прогнозирование [Текст] / А.Г. Гранберг. - М.: Финансы и статистика, 1990. - 382 с.
23. Гужвина Н.С. Концепция и аналитический инструментальный метод «затраты-результат» // Экономический анализ: теория и практика. – 2006. – №4. с. 43-50.
24. Гуцыкова С.В. Метод экспертных оценок: теория и практика. – М.: Институт психологии РАН, 2011. - 144 с.

25. Данилец Е.В. Имитационное моделирование систем управления качеством в экономике // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2008. - №2. с. 197-202.
26. Демиденко Е.З. Линейная и нелинейная регрессия. – М.: Финансы и статистика, 1981. - 302 с.
27. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. - М.: Статистика, 1973. - 342 с.
28. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Статистика, 1973. - 342 с.
29. Дрейпнер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ: в 2-х кн. Кн. 1 / Пер. с англ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 1986. - 366 с.
30. Дубров А.М. Многомерные статистические методы для экономистов и менеджеров [Текст] / А.М. Дубров, В.С. Мхитарян, Л.И. Трошин. – М.: "Финансы и статистика", 2003 г. - 352 с.
31. Елизарьев Ю.В. и др. Факторная модель пассажирских перевозок // Экономика железных дорог, 2003. Вып. 9, с. 67-81.
32. Елисеева И.И. Эконометрика [Текст] / И.И. Елисеева. – М.: Финансы и статистика, 2002. - 344 с.
33. Ермаков С.М., Михайлов Г.А. Статистическое моделирование. – 2-е изд., дополн. – М.: Наука, 1982. - 296 с.
34. Жарий Д.И. Программно-математические средства вероятностного анализа безубыточности железнодорожного пассажирского транспорта: дис. ... канд. технич. наук. Иркут. гос. университет путей сообщения, Иркутск, 2011.
35. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. – Новосибирск, 1999. - 270 с.
36. Закс Л. Статистическое оценивание [Текст] / Л.Закс. - М.: Статистика, 1976. - 598 с.

- 37.Зубков В.Н., Мусиенко Н.Н. Организация пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте. В 5 ч. Ч. 5. Технология и управление работой железнодорожных участков и направлений: Учебное пособие. – Ростов-на-Дону.: Рос. гос. ун-т путей сообщения, 2006. - 120 с.
- 38.Картышов С.В. Marketing Expert – система поддержки принятия решений на всех этапах разработки стратегического и тактического планов маркетинга и контроля за их реализацией // Маркетинг и маркетинговые исследования в России. – 1997. – №4(10). с. 24-39.
- 39.Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Спб.: Питер, 2004. - 847 с.
- 40.Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. – М.: Радио и связь, 1981. - 560 с.
- 41.Ковалев В.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия: учебник / В.В. Ковалев, О.Н. Волкова. – М.: Проспект, 2010. - 424 с.
- 42.Ковалев В.В. Методы оценки инвестиционных проектов. - М.: Финансы и статистика, 2000. - 144 с.
- 43.Ковалев В.В. Финансовый анализ: методы и процедуры. - М.: Финансы и статистика, 2002. - 560 с.
- 44.Ковалев В.В. Финансовый анализ: методы и процедуры. - М.: Финансы и статистика, 2002. - 560 с.
- 45.Кожушко А.А. Применение методов имитационного моделирования в транспортно-логистических задачах // Компьютерное моделирование: Труды Восьмой международной научно-практической конференции (26-27 июня 2007 г.). СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2007. с. 230-234
- 46.Колемаев В.А. Эконометрика [Текст] / В.А. Колемаев. – М.: Инфра-М, 2006. - 160 с.
- 47.Комаров Г.П., Глазков В.С. Восточно-Сибирская железнодорожная магистраль: Путь в 100 лет (1898 – 1998). Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1998. - 552 с.

48. Комаров Л.К. Динамическое ценообразование и управление доходностью пассажирских перевозок // Железнодорожный транспорт. 2010, №1. с 27-30.
49. Кохрен У. Методы выборочного исследования. -М.: Статистика, 1976. - 440 с.
50. Краковский Ю.М. Имитационное моделирование. Иркутск: Изд-во ИГЭА, 2002. - 138 с.
51. Краковский Ю.М. Математические и программные средства оценки технического состояния оборудования. Новосибирск: Наука, 2006. 228 с.
52. Краковский Ю.М., Жарий Д.И. Исследование влияния неопределенности исходных данных на показатели пассажирских перевозок // Современные технологии, системный анализ, моделирование. Иркутск: Изд-во ИрГУПС, 2011. Вып. 1. с. 209-212.
53. Краковский Ю.М., Жарий Д.И., Селиванов А.С. Управление доходностью перевозки пассажиров на основе вероятностного анализа безубыточности // Вестник ВНИИЖТ, 2011. Вып. 6. с. 35-39.
54. Краковский Ю.М., Жарий Д.И., Селиванов А.С. Функциональные возможности программного комплекса для вероятностного анализа безубыточности // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. Иркутск: Изд-во ИрГУПС, 2010. Вып. 8. с. 20-25.
55. Краковский Ю.М., Калиновский С.Г., Селиванов А.С. Математическое обеспечение моделирования случайной величины при вероятностном анализе безубыточности // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. Иркутск: Изд-во ИрГУПС, 2009. Вып. 7. с. 137-143.
56. Краковский Ю.М., Карнаухова В.К. Методы анализа и обработки данных для мониторинга регионального рынка образовательных услуг. – М.: Издательский центр «МарТ», 2007. - 240 с.

57. Кудрявцев В.А. Организация железнодорожных перевозок. М.: "Академия", 2008. - 256 с.
58. Кузык Б.Н. Прогнозирование, стратегическое планирование и национальное программирование: Учебник / Б.Н. Кузык, В.И. Кушлин, Ю.В. Яковец. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Экономика, 2011. - 604 с.
59. Леман Э. Проверка статистических гипотез. – М.: Наука, 1979. - 408 с.
60. Литвак Б.Г. Экспертная информация: методы получения и анализа. М.: Радио и связь, 1982. - 184 с.
61. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования. М.: Статистика, 1979. - 254 с.
62. Лукичева Л.И., Егорычев Д.Н., Анискина Ю.П. Управленческие решения: учебник по специальности «Менеджмент организации» - 4-е изд. – М.: Изд-во «Омега-Л», 2009. - 383 с.
63. Макарова Е.А. Актуальные вопросы организации железнодорожных пассажирских перевозок. -М.: Маршрут, 2006. - 156 с.
64. Макарова Е.А. Методология исследования тенденций и закономерностей формирования пассажиропотоков в условиях применения информационных технологий. // Вестник транспорта, 2008, №5. с. 24-29.
65. Максимей И.М. Имитационное моделирование на ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988. - 232 с.
66. Мирошниченко О.Ф., Венедиктов Г.Л., Кочетков В.М., Пастухов С.С. Методы реализации системы управления доходностью применительно к пассажирскому железнодорожному сообщению // Вестник ВНИИЖТ. 2010, №6. с. 10-15.
67. Моделирование и анализ систем. IDEF-технологии: практикум / Черемных С.В., Семенов И.О., Ручкин В.С. – М.: Финансы и статистика, 2006. - 192 с.
68. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981. - 488 с.

- 69.Мудров В.И., Кушко В.А. Методы обработки измерений. Квазиподобные оценки. – М.: Радио и связь, 1983. - 304 с.
- 70.Мухин В.И. Исследование систем управления. Анализ и синтез систем управления. – М.: Экзамен, 2002. - 383 с.
- 71.Мхитарян В.С., Архипова М.Ю., Сиротин В.П. Эконометрика: Учебно-методический комплекс. – М.: Изд. центр ЕАОИ, 2008. - 144 с.
- 72.Нейлор Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем. – М.: «Мир», 1975. - 500 с.
- 73.Николаева С.А. Особенности учета затрат в условиях рынка: система «директ-костинг». – М.: Финансы и статистика, 1993. - 74 с.
- 74.Новикова Н.В., Поздеева О.Г. Прогнозирование национальной экономики: учебно-методическое пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2007. - 137 с.
- 75.Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. -М.: Физматлит, 2002. - 176 с.
- 76.Носков С.И. Технология моделирования объектов с нестабильным функционированием и неопределенностью в данных. – Иркутск: РИЦ ГП «Облформпечать», 1996. - 319 с.
- 77.О создании открытого акционерного общества "Российские железные дороги": Утверждена Постановлением Правительства РФ №585 от 18.09.2003 г.// Собрание законодательства Российской Федерации. - 2003. - №39. - Ст. 3766.
- 78.Ованесян С.С., Щербинин В.П. Безубыточность производства в условиях неопределенности // Проблемы экономики и управления. Казань: АНО «РОНИ» . – 2007. – №3. с. 18-23.
- 79.Ованесян С.С., Щербинин В.П. Вероятностное моделирование в анализе безубыточности производства. – Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2008. - 111 с.
- 80.Орлов А.И. Менеджмент: Учебник. – М.: «Изумруд», 2003. - 298 с.
- 81.Орлов А.И. Эконометрика [Текст] / А.И. Орлов. – М.: Экзамен, 2002. - 441 с.

82. Пастухов С.С. Определение приоритетных направлений улучшения качества транспортного обслуживания пассажиров в условиях неизвестности реального закона распределения изучаемых данных // Вестник ВНИИЖТ, 2009. Вып. 2. с. 22-25.
83. Петровский А.Б. Многокритериальное ранжирование объектов по противоречивым данным // Искусственный интеллект. 2006, №2. с. 215-220.
84. Петруня Ю.Э. Принятие управленческих решений / Начальное пособие / под ред. Петруни Ю.Э. – 2-е изд. – К.: Центр учебной литературы, 2011. - 216 с.
85. Пласкова Н.С. Экономический анализ: учебник – 3-е изд. – М.: Эксмо, 2010. - 704 с.
86. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. – М.: Наука, 1982. - 254 с.
87. Полищук Л.И., Бахтин А.Е. Анализ многокритериальных экономико-математических моделей. – Новосибирск: Наука, 1989. - 352 с.
88. Прицкер А. Введение в имитационное моделирование и язык СЛАМ-2. - М.: Мир, 1987. - 646 с.
89. Программа структурной реформы на железнодорожном транспорте: Утверждена Постановлением Правительства РФ №384 от 18.05 2001 г.// Собрание законодательства Российской Федерации. - 2001. - №23. - Ст. 2366.
90. Раскин Л.Г. Анализ сложных систем и элементы теории оптимального управления. – М.: Советское радио, 1976. - 344 с.
91. Рахмангулов А.Н. Методы оптимизации транспортных процессов: Учеб. пособие. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И.Носова, 1999. - 114 с.
92. Российский статистический ежегодник. 2015: Стат.сб. / Росстат. – М., 2015. - 728 с.
93. Рубцов А.О., Тарасов А.С. Моделирование железнодорожных перевозок на территории России // Труды ИСА РАН, 2009. Вып. 46. с. 274-278

94. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. - М.: Радио и связь, 1993. - 320 с.
95. Савицкая Г.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия: Учебник. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Инфра-М, 2009. - 536 с.
96. Савчук В.П. Управление прибылью и бюджетированием. – М.: Бином, 2005. - 432 с.
97. Садовникова Н.А., Шмойлова Р.А. Анализ временных рядов и прогнозирование: учебное пособие. – М.: Изд-во «Синергия», 2004. - 200 с.
98. Сазонов В.Г. Планирование и прогнозирование в условиях рынка: Учебное пособие. – Владивосток: ТИДОТ ДВГУ, 2001. - 146 с.
99. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. – М.: Наука, 1969. - 512 с.
100. Современные проблемы вычислительной математики и математического моделирования: в 2 т. / Рос. акад. наук; Ин-т вычисл. мат. – М.: Наука, 2005. Т2: Математическое моделирование / Отв. ред. В.П. Дымников. – 2005. - 405 с.
101. Соколов Ю.И. Проблемы и методы формирования спроса на грузовые железнодорожные перевозки. – М.: Маршрут, 2005. - 127 с.
102. Старовойтов М.К. Управленческие решения в современных организациях: теория и практика. – Волгоград, 2015. - 320 с.
103. Строгалев В.П. Имитационное моделирование: учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. - 295 с.
104. Тихонов Э.Е. Прогнозирование в условиях рынка: учебное пособие. – Невинномысск, 2006. - 221 с.
105. Турпищева М.С., Нургалиев Е.Р. Моделирование системы организации пассажироперевозок с целью повышения ее надежности // Материалы VI всероссийской научно-технической конференции «Политранспортные системы» (Новосибирск, 22 апреля 2009 г.). Новосибирск, 2009. с. 295-298

106. Фильчаков П.В. Численные и графические методы прикладной математики. Киев: Наукова думка, 1970. - 800 с.
107. Форрестер Дж. Динамика развития города. – М.: Прогресс, 1974. - 287 с.
108. Форрестер Дж. Мировая динамика. – М.: Наука, 1978. - 167 с.
109. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия. – М.: Прогресс, 1971. - 340 с.
110. Харин Ю.С., Малюгин В.И., Кирлица В.П. и др. Основы имитационного и статистического моделирования. Учебное пособие – Мн.: Дизайн ПРО, 1997. - 288 с.
111. Черноморов Г.А. Теория принятия решений: Учебное пособие / Юж. рос. Гос. Техн. Ун-т. Новочеркасск: Ред. журн. "Изв. вузов. Электромеханика", 2002. - 276 с.
112. Чернышева Т.Ю. Применение методов оптимизации при планировании госдолга субъекта РФ // Современные наукоемкие технологии, 2007. Вып. 9. с. 23-25.
113. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования [Текст] / Е.М. Четыркин. - М.: Статистика, 1975. - 184 с.
114. Швецов В.И. Математическое моделирование транспортных потоков РФ // Автоматика и телемеханика, 2003. Вып. 11. с. 3-46.
115. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука: Пер. с англ. – М.: «Мир», 1978. - 424 с.
116. Шеффе Г. Дисперсионный анализ. - М.: Наука, 1980. - 512 с.
117. Шикин Е.В., Чхартишвили А.Г. Математические методы и модели в управлении. М.: Дело, 2004. - 440 с.
118. Шим К., Сигел Г. Методы управления стоимостью и анализа затрат. – М.: Финансы и статистика, 1996. - 342 с.
119. Щербинин В.П. Модели безубыточности производства // Аудит и финансовый анализ. – М.: ООО «ДСМ Пресс» . – 2007. – №5. с. 229-235.

120. Юдина Л.Н. Анализ себестоимости и прибыли в системе Директ-костинг // Финансовый менеджмент. – 2005. – №5. с. 41-52.
121. Ямалов И.Г. Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций. М.: ООО «ДСМ Пресс». 2007. - 288 с.
122. Cafferky Michael. Breakeven Analysis: The Definitive Guide to Cost-Volume-Profit Analysis. Business Expert Press, 2010. - 157 p.
123. Jackson J.R. Networks of waiting lines // Operations Research. 1957. №5. P. 518-521.
124. Klarman Seth A. Margin of Safety: Risk-Averse Value Investing Strategies for the Thoughtful Investor. HarperCollins, 1991. - 249 p.
125. Matsumoto M. Mersenne twister: A 623-dimensionally equidistributed uniform pseudorandom number generator / M. Matsumoto, T. Nishimura // ACM Trans. on Modeling and Computer Simulations. – 1998. – Vol. 8(1). – P. 3-30.
126. Pappas, T. "Mersenne's Number." The Joy of Mathematics. San Carlos, CA: Wide World Publ./Tetra, p. 211, 1989.
127. Schweitzer Marcell, Trossmann Ernst, Lawson Gerald H. Break-even Analyses: Basic Model, Variants, Extensions. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 1992. - 320 p.