

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иркутск – 2017

Работа выполнена на кафедре «Информатика и математическое моделирование»
ФГБОУ ВО «Иркутский аграрный университет имени А.А. Ежевского»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Краковский Юрий Мечеславович

Официальные оппоненты: **Массель Людмила Васильевна**
доктор технических наук, профессор,
ФГБУН Институт систем энергетики
им. Л.А. Мелентьева СО РАН (г. Ир-
кутск), главный научный сотрудник

Кедрин Виктор Сергеевич
кандидат технических наук, доцент,
кафедра «Теория вероятностей и дис-
кретная математика» ФГБОУ ВО
«Иркутский государственный универси-
тет», доцент

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Иркутский национальный
исследовательский технический универ-
ситет»

Защита состоится 14 ноября 2017 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного
совета Д 212.070.07 на базе ФГБОУ ВО «Байкальский государственный универси-
тет» по адресу: 664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 24, корпус 9, зал заседаний
ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО
«Байкальский государственный университет» по адресу: 664003, г. Иркутск,
ул. Ленина, 11, БГУ, корпус 2, аудитория 101,
(<http://dissovet.bgu.ru/dissertation/disinfo.aspx?id=45>).

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

Автореферат разослан «___» _____ 2017 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Т.И. Ведерникова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 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».

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.

Тематика работы соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.13.18: п. 4 «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента», п. 5 «Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента», п. 8 «Разработка систем компьютерного и имитационного моделирования».

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 без приложения составляет 149 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе обоснована необходимость использования вероятностного анализа безубыточности на основе имитационного моделирования при реализации средства для решения задачи выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок. С этой целью выполнено: 1) описание особенностей и характеристик железнодорожных пассажирских перевозок дальнего следования; 2) обзор средств моделирования пассажирских перевозок; 3) обоснование важности и необходимости решения задачи по управлению доходностью пассажирских перевозок дальнего следования на железнодорожном транспорте; 4) описание вероятностного анализа безубыточности на основе имитационного моделирования и обоснование его применения для управления доходностью пассажирских перевозок; 5) сформулирована цель и основные задачи работы.

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.

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. Математическое обеспечение содержит четыре составляющих: моделирование случайных величин, обоснование объема выборки, проверка значимости показателей эффективности, выбор наилучшего варианта пассажирских перевозок. Программное обеспечение содержит три компоненты: модуль расчета показателей эффективности (моделирующая программа), модуль проверки статистической значимости показателей эффективности и модуль выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок.

Общая схема реализации выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок представлена на рис. 1.

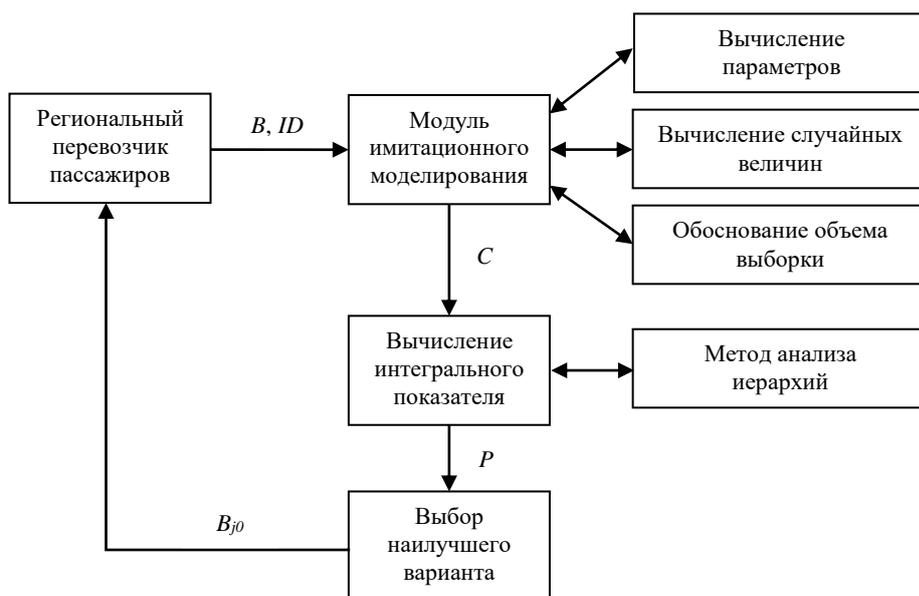


Рис. 1. Общая схема реализации выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок

Центральной частью созданного алгоритма является имитационная модель, которая вычисляет значения показателей эффективности исходя из заданных значений исходных данных. Предполагается, что экспертами формируются возможные варианты пассажирских перевозок ($B = b_j, j = \overline{1, J}; J$ – число вариантов). Каждый вариант пассажирских перевозок характеризуется исходными данными ($ID = d_{lj}, l = \overline{1, L}, j = \overline{1, J}; L$ – число исходных данных): K – постоянные затраты, X – переменные затраты на единицу пассажирооборота, Y – цена единицы пассажирооборота, D – размер дотации, In – размер инвестиции, Q – пассажирооборот.

Для каждого варианта пассажирских перевозок на основе его исходных данных при помощи модуля имитационного моделирования вычисляются значения базовых показателей эффективности ($C^* = c^*_{ij}, i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J}; I$ – число показателей). На основе полученного набора значений показателей эффективности происходит вычисление значения интегрального показателя по каждому варианту пассажирских перевозок ($P = p_j, j = \overline{1, J}$). На основе полученного набора интегральных показателей P осуществляется выбор наилучшего варианта пассажирских перевозок по экстремальному значению интегрального показателя.

Для моделирования исходных данных как случайных величин предлагается использовать шесть законов распределения вероятностей: 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*). Моделирование значений исходных данных осуществляется в два этапа: 1) на первом этапе происходит получение по заданным числовым характеристикам параметров закона распределения вероятностей при помощи метода моментов (блок «Вычисление параметров»); 2) на втором этапе происходит моделирование случайных величин в соответствии с заданным алгоритмом для выбранного закона распределения вероятности (блок «Вычисление случайных величин»).

По каждому варианту пассажирских перевозок оцениваются следующие показатели эффективности:

1. Точка безубыточности

$$Q_0 = (K - D) / (Y - X) = (K - D) / Z, \quad (1)$$

где $Z = Y - X$ – вложенный доход на единицу пассажирооборота.

2. Вложенный доход (*CM*) и операционная прибыль (*OP*)

$$CM = (Y - X) \cdot Q + D = Z \cdot Q + D; \quad (2)$$

$$OP = CM - K. \quad (3)$$

3. Операционный рычаг

$$OR = MCM / MOP, \quad (4)$$

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

4. Запас безопасности

$$ZBN = (Q - Q_0) / Q, \quad (5)$$

$$ZBY = (Q - Q_0) \cdot Y, \quad (6)$$

$$ZB(\%) = 100 \cdot (MQ - MQ_0) / MQ, \quad (7)$$

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 *MQ₀* – математические ожидания пассажирооборота и точки безубыточности.

5. Рентабельность инвестиций (в процентах)

$$ROI = 100 \cdot OP / In, \quad (8)$$

где *In* – объем инвестиций.

6. Срок окупаемости

$$TO = Min / MOP, \quad (9)$$

где *Min* – математическое ожидание инвестиций *In*.

Особенностью подхода реализованного в работе является то, что исходные данные считаются не детерминированными, а случайными величинами. Как следствие, показатели эффективности тоже являются случайными величинами. По каждому показателю эффективности в процессе моделирования формируется выборка значений, которая затем обрабатывается статистическими методами. При этом получают точечные и интервальные оценки показателей, гистограммы относительных частот, строятся графики различных зависимостей.

Учитывая большое число показателей эффективности, выбор наилучшего варианта предлагается проводить по двум технологиям: 1) используя информацию экспертов, определяется наиболее важный показатель для выбора варианта; 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 используются показатели риска, как вероятности специальных событий. Было выделено четыре показателя, которые могут быть оценены рисками:

1. Риск по показателю вложенного дохода

$$RCM = P(CM < CM_3), \quad (10)$$

где *CM₃* – заданное значение показателя вложенного дохода.

2. Риск по показателю запаса безопасности

$$RZBN = P(ZBN < ZBN_3), \quad (11)$$

$$RZBY = P(ZBY < ZBY_3), \quad (12)$$

где ZBN_3 – заданное значение запаса безопасности при измерении пассажирооборота в натуральных единицах и ZBY_3 – заданное значение запаса безопасности при измерении пассажирооборота в стоимостном исчислении.

3. Операционный риск

Рассчитываемый операционный риск состоит из трех показателей:

s_{op} – среднеквадратическое отклонение операционной прибыли;

v_{op} – коэффициент вариации операционной прибыли в процентах

$$v_{op} = 100 \cdot s_{op} / MOP; \quad (13)$$

и ROP – операционный риск, как вероятность события

$$ROP = P(OP < OP_3), \quad (14)$$

где OP_3 – заданное значение показателя операционной прибыли.

4. Риск по показателю рентабельности инвестиций

$$RROI = P(ROI < ROI_3), \quad (15)$$

где ROI_3 – заданное значение показателя рентабельности инвестиций.

Компонента вектора значений интегрального показателя для каждого варианта пассажирских перевозок определяется путем линейной свертки согласно следующей модели:

$$p_j = \sum_{i=1}^{I^*} (w_i \cdot c_{ij}), j = \overline{1, J}, \quad (15)$$

где w_i – коэффициент важности i -го показателя риска, j – номер варианта пассажирских перевозок, I^* – общее количество значимых показателей риска по каждому варианту пассажирских перевозок, c_{ij} – значение i -го показателя риска для j -го варианта пассажирских перевозок.

Далее выбирается наиболее существенный вариант пассажирских перевозок по экстремальному значению интегрального показателя (15)

$$B_{j0} = \min_j p_j. \quad (16)$$

При использовании линейной свертки для получения значения интегрального показателя и сравнения вариантов пассажирских перевозок по его значению, необходимо, чтобы входящие в него показатели эффективности были не связаны между собой. С этой целью в предлагаемом подходе выполняется дополнительная процедура проверки значимости показателей риска при помощи дисперсионного анализа.

Вычисление коэффициентов важности предлагается осуществлять методом анализа иерархий (МАИ), как наиболее эффективного и распространенного на практике. Согласно МАИ группа экспертов подготавливает матрицу суждений, сравнивая попарно показатели риска по их важности:

$$A = (a_{ik}), i, k = \overline{1, \dots, I^*}. \quad (17)$$

Искомые весовые коэффициенты являются решением уравнения:

$$Aw = \lambda_{\max} w, \quad (18)$$

где w – искомый вектор коэффициентов;

$$w = (w_1, \dots, w_i, \dots, w_{I^*}); \sum_{i=1}^{I^*} w_i = 1; \quad (19)$$

λ_{\max} – наибольшее собственное значение матрицы A , которое определяется по формуле:

$$\lambda_{\max} = \lim_{l \rightarrow \infty} \left[\sum_{i=1}^{I^*} a_{ii}^l \right]^{\frac{1}{l}}. \quad (20)$$

Для оценки степени согласованности суждений экспертов вычисляется отношение согласованности:

$$OS = IS / SI(I^*) , \quad (21)$$

где $SI(I^*)$ – среднестатистическое значение индекса согласованности определяемое по специальной таблице, а IS – индекс согласованности, определяемый по формуле:

$$IS = (\lambda_{max} - I^*) / (I^* - 1). \quad (22)$$

Если отношение согласованности больше критического значения 0,1, считается что матрица суждений A не согласована и необходимо сформировать ее заново. Если матрица суждений A согласована, считается, что получен искомым вектор весовых коэффициентов.

Чтобы корректно использовать модель, описанную формулой (15), для сравнения вариантов пассажирских перевозок, значения рисков должны быть детерминированными величинами. При имитационном моделировании они являются случайными величинами, поэтому отдельно была поставлена и решена задача определения объема выборки, при котором значения показателей рисков можно считать практически детерминированными величинами. Для решения задачи обоснования объема выборки был выбран метод Бехгоффера и Блюменталя (ББ), являющийся разновидностью метода множественного ранжирования. Выбрать наилучший вариант по методу ББ означает определить номер с вероятностью p_0 при заданном отклонении δ_0 , то есть обеспечить вероятность правильного выбора (P_ϵ):

$$P\left[\frac{P_\epsilon}{b} \geq \delta_0\right] \geq p_0 , \quad (23)$$

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

Далее вычисляется статистика специального вида Z_n :

$$Z_n = \sum_{j=1}^{J-1} L_{jn} ; \quad (24)$$

$$L_{jn} = \left[\frac{H_n - 2\delta_0 \cdot n \cdot \tilde{x}_j^0}{H_n - 2\delta_0 \cdot n \cdot \tilde{x}_j^0} \right]^m ; \quad (25)$$

$$m = [J \cdot (n-1) + J - 1] / 2 ,$$

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

$$H_n = (n-1) \cdot \sum_{j=1}^J s_j^2 + m_0 \cdot \left(\sum_{j=1}^J \tilde{x}_j^2 + \delta_0^2 \right) + \frac{2n}{J} \cdot \delta_0 \cdot \sum_{j=1}^J \tilde{x}_j ; \quad (26)$$

$$m_0 = [(J-1) \cdot n] / J ,$$

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

$$\delta_0 = 0,15 \cdot s , \quad (27)$$

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

$$s = \sqrt{(s_j^2 + s_{j-1}^2) / 2} .$$

После вычисления статистики Z_n проверяется условие

$$Z_n \leq (1 - p_0) / p_0 . \quad (28)$$

Статистика Z_n вычисляется для каждого показателя риска. Если условие (28) выполняется для каждого показателя, значит объем выборки n достаточен для вы-

бора наилучшего варианта пассажирских перевозок по значениям показателей риска. Если условие (28) не выполняется хотя бы для одного из показателей, объем выборки n следует увеличить, повторно выполнить расчет значений показателей риска и заново проверить достаточность этого объема.

Для решения задачи выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок на основе созданного алгоритмического обеспечения разработан программный комплекс «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, среднеквадратического 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; 9) 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.

При запуске программного комплекса появляется главное окно, приведенное на рисунке 2, при помощи которого пользователь получает доступ ко всем функциям и настройкам программы

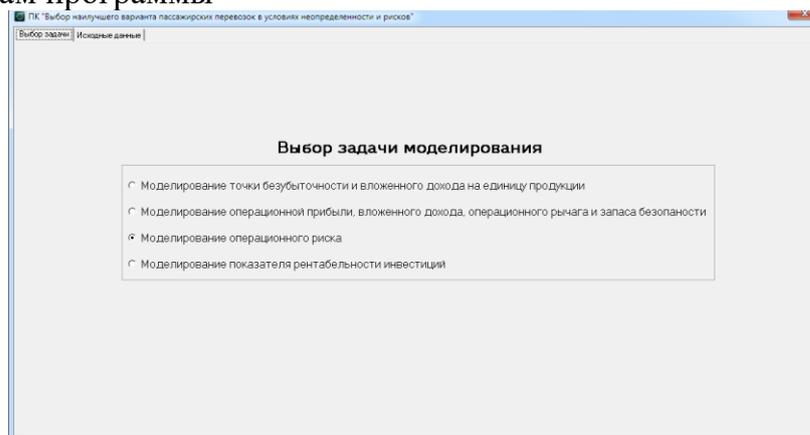


Рис. 2. Главное окно программы

На рисунке 3 приведен пример вывода результатов работы программного комплекса.

В третьей главе проведено тестирование и апробация созданного алгоритмического и программного обеспечения для оценки вариантов пассажирских перевозок дальнего следования по показателям эффективности, при помощи вероятностного анализа безубыточности на основе имитационного моделирования, срав-

нения их по значениям этих показателей и выбора наилучшего из них на примере Восточно-Сибирского филиала Федеральной Пассажирской Компании ОАО «РЖД» (ВСФ ФПК).



Рис. 3. Окно вывода результатов

Апробация алгоритмического обеспечения проводилась по трем направлениям:

1. Проверка алгоритмического обеспечения по оценке показателей эффективности на основе вероятностного анализа безубыточности;
2. Проверка алгоритмического обеспечения по проверке объема выборок на основе метода Бехгоффера-Блюменталья;
3. Проверка алгоритмического обеспечения выбора наилучшего варианта по показателям риска с дополнительной проверкой их статистической значимости.

Для первого направления использовались отчетные данные ВСФ за анализируемый год. Приведем результаты моделирования при следующих исходных данных:

- а) постоянные затраты (K) – 2948,4 млн. руб.;
- б) переменные затраты на единицу пассажирооборота (X) – 0,669 млн. руб./млн. пасс-км.;
- в) цена единицы пассажирооборота (Y) – 1,492 млн. руб./млн. пасс-км.;
- г) дотация (D) – 173,7 млн. руб.;
- д) пассажирооборот (Q) – 4243,6 млн. пасс-км.;
- е) инвестиции (In) – 400 млн. руб.

Расчет по формуле (1) (расчет по средним) дает следующий результат для точки безубыточности – 3371,446 млн. пасс-км.

Для затрат K и X как случайных величин выбран нормальный закон; для величины Y как случайной величины выбрано гамма-распределение; для дотации D , как случайной величины выбрано бета-распределение; для пассажиропотока Q как случайной величины использовано распределение Бирнбаума-Саундерса; для инвестиции In как случайной величины выбрано логнормальное распределение. Рассматривая исходные данные как случайные величины с коэффициентом вариации (7-10)%, по созданной моделирующей программе были получены следующие значения показателей эффективности:

1) оценка математического ожидания величины точки безубыточности Q_0 (1) равна 3438,303 млн. пасс-км, а доверительный интервал для математического ожидания (3425,955 – 3450,65). Расчет по средним, как уже отмечалось выше, равен 3371,446 и не попадает в доверительный интервал. Это указывает на то, что случайность исходных данных статистически значимо увеличивает значение точки безубыточности, что обосновывает необходимость вероятностного анализа безубыточности. Оценка математического ожидания величины вложенного дохода на единицу пассажирооборота Z (1) равна 0,823 млн. руб. / млн. пасс-км., а доверительный интервал для математического ожидания (0,821 – 0,825);

2) оценка математического ожидания величины операционной прибыли OP (3) равна 717,302 млн. руб., а доверительный интервал для математического ожидания (703,787 – 730,818). Фактическая прибыль ВСФ в анализируемом году составила 716,96 млн. руб. Данное значение попадает в доверительный интервал, что подтверждает адекватность разработанной моделирующей программы. Оценка математического ожидания величины вложенного дохода CM (2) равна 3668,455 млн. руб., а доверительный интервал для математического ожидания (3656,34 – 3680,571). Оценка математического ожидания величины операционного рычага OR (4) равна 5,114, а доверительный интервал для математического ожидания (5,033 – 5,196). Оценка величины запаса безопасности в натуральных единицах ZBN (5) равна 0,197 млн. пасс-км., а доверительный интервал (0,176 – 0,183). Оценка величины запаса безопасности в стоимостном исчислении ZBY (6) равна 1235,227 млн. руб., а доверительный интервал (1211,825 – 1258,63). Оценка величины запаса безопасности в процентах ZB (7) равна 18,76%. Оценка вероятности риска по показателю вложенного дохода RCM (10) при заданном вложенном доходе 2948,5 млн. руб. равна 0,111, доверительный интервал (0,105 – 0,117). Заданное значение вложенного дохода равно 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 $RZBN$ (11) при заданном запасе безопасности в натуральных единицах 0 млн. пасс-км. Равна 0,145, доверительный интервал (0,138 – 0,151). Оценка вероятности риска по показателю запаса безопасности в стоимостном исчислении $RZBY$ (12) при заданном запасе безопасности в стоимостном исчислении равном 0 млн. руб. равна 0,144, доверительный интервал (0,138 – 0,151);

3) оценка операционного риска ROP (14) при заданной операционной прибыли равной 0, равна 0,143, а доверительный интервал для риска (0,136 – 0,149). В этом случае операционный риск характеризует вероятность убытка. Оценка коэффициента вариации операционной прибыли v_{op} (13) равна 94,434%. Таким образом, вследствие случайности исходных данных, операционная прибыль имеет значительный разброс (исходные данные имеют коэффициент вариации (7-10)%;

4) оценка показателя рентабельности инвестиций ROI (8) равна 181,6%, а доверительный интервал (178,271 – 184,929). Оценка показателя риска по рентабельности инвестиций $RROI$ (15) при заданной рентабельности инвестиций 15% равна 0,158, а доверительный интервал (0,151 – 0,165). Оценка математического ожидания величины срока окупаемости инвестиций TO (9) равна 0,5 года, а доверительный интервал для математического ожидания (0,547 – 0,567).

Результат экспериментальной проверки показал работоспособность моделирующей программы и ее адекватность. Кроме этого, проверка показала, 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.

Для второго направления использовались те же исходные данные, что и для первого. Проверялось предположение о достаточности объема выборки равном 10000, при котором сравнение вариантов пассажирских перевозок по значениям показателей эффективности будет считаться корректным. Результат экспериментальной проверки показал, что минимальный достаточный объем выборки равен 3999 и получен для показателя вложенного дохода CM . Соответственно объем выборки равный 10000 достаточен для последующего сравнения вариантов. Результа-

ты проверки показаны на рисунке 4. Ручной расчет подтвердил корректность работы алгоритмического обеспечения по проверке объема выборок.

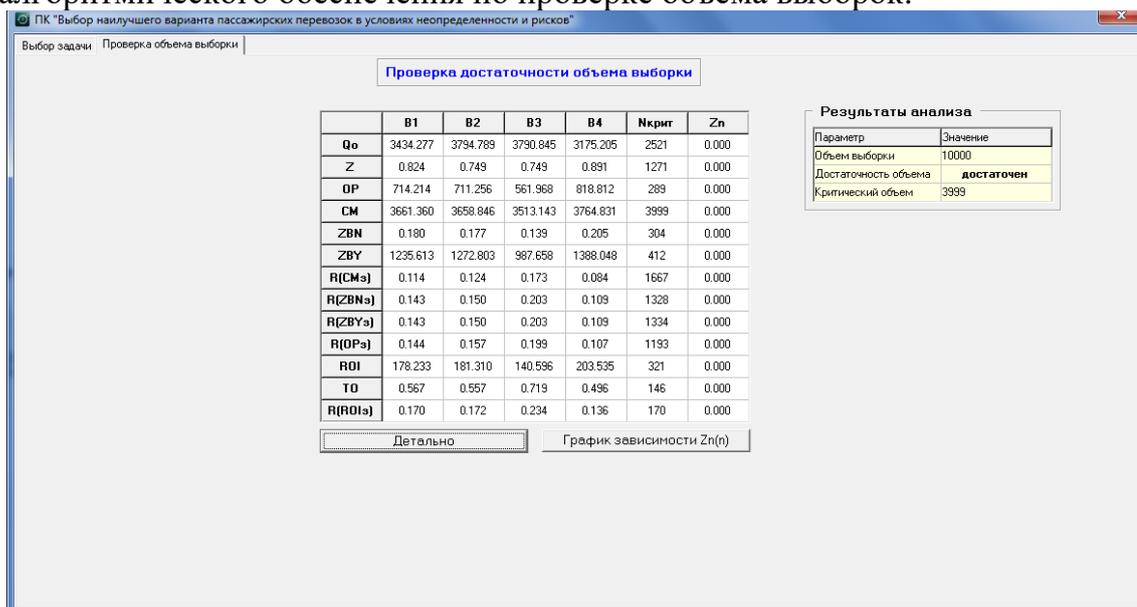


Рис. 4. Результаты проверки достаточности объема выборки

Для третьего направления использовались те же исходные данные, что и для первого. На основе этих данных экспертами было сформировано 4 варианта пассажирских перевозок: 1) базовый вариант, основанный на исходных данных; 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.

На основании данных каждого варианта пассажирских перевозок были получены следующие значения показателей эффективности (табл. 1). Выбрав экспертно наиболее существенный из них, можно далее по нему выбрать наиболее существенный вариант.

Рассмотрим более подробнее подход, основанный на интегральном критерии и технологии (16) с учетом (15).

Для этого из полученных показателей эффективности необходимо отобрать показатели, отражающие риски: 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 было оставить только те, значения которых существенно зависят от варианта пассажирских перевозок. Для этого использовался модуль «Проверка значимости показателей риска» разработанного программного комплекса. Работа данного модуля основана на использовании метода дисперсионного анализа.

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 1

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

Выбор наилучшего варианта пассажирских перевозок осуществляется при помощи процедуры двухэтапного ранжирования. На первом этапе вычисляются весовые коэффициенты показателей риска, характеризующие их значимость и, на основе значений показателей риска вычисляется интегральный показатель по каждому варианту пассажирских перевозок. На втором этапе выбирается наиболее существенный вариант перевозок по экстремальному значению интегрального показателя. Для получения весовых коэффициентов экспертами была составлена матрица суждений (17) относительно важности отобранных показателей риска.

Реализуя МАИ, был получен вектор весовых коэффициентов (19), отражающий степень важности показателей риска:

$$w = (0,041; 0,225; 0,142; 0,086; 0,506) \quad (29)$$

Наиболее существенным оказался показатель риска по показателю рентабельности инвестиций *RROI*, имеющий максимальный весовой коэффициент равный 0,506. Вычислена количественная оценка относительной согласованности суждений (21) $OS = 0,0246$. Поскольку полученное значение $OS \leq 0,1$ считаем, что суждения согласованы.

Используя полученный вектор весовых коэффициентов w и значения показателей риска (табл. 1) было вычислено значение интегрального показателя P (15) для каждого варианта пассажирских перевозок:

$$p_1 = 0,156 ; p_2 = 0,161 ; p_3 = 0,217 ; p_4 = 0,121 \quad (30)$$

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

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

w	0,041	0,225	0,142	0,086	0,506
---	-------	-------	-------	-------	--------------

P	0,156	0,161	0,217	0,121
---	-------	-------	-------	--------------

L _{max} = 5,1102773	ИС = 0,0275693	ОС = 0,0246
------------------------------	----------------	-------------

Рис. 7. Форма результата выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок

Поскольку для показателей риска экстремальным значением считается наименьшее из имеющихся (16), наилучшим из имеющихся вариантов пассажирских перевозок будет считаться вариант №4 значение интегрального показателя ко-

того равно 0,121. Результаты выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок отображаются на специальной форме программного комплекса (рис. 7).

Апробация созданного алгоритмического и программного обеспечения показала его работоспособность и практическую значимость.

В заключении приведены основные результаты работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

1. Разработана постановка задачи выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок по значениям показателей эффективности в условиях неопределенности исходных данных с использованием вероятностного анализа безубыточности и метода анализа иерархий.

2. Создано специальное математическое обеспечение расчета показателей эффективности на основе метода имитационного моделирования, использующего различные вероятностные модели исходных данных.

3. Предложен численный алгоритм определения объема выборок по методу множественного ранжирования Бехгоффера и Блюменталья, необходимого для корректного выполнения сравнения вариантов пассажирских перевозок по оценкам показателей эффективности.

4. 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 алгоритмическом обеспечении сравнения вариантов пассажирских перевозок по набору значений показателей эффективности. Получено свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ.

5. Проведена апробация созданного алгоритмического и программного обеспечения по исходным данным Восточно-Сибирского филиала Федеральной Пассажирской компании. Апробация подтвердила его работоспособность, практическую значимость и адекватность моделирующей программы.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Селиванов, А.С. Управление доходностью перевозки пассажиров на основе вероятностного анализа безубыточности / А.С. Селиванов, Ю.М. Краковский, Д.И. Жарий // Вестник ВНИИЖТ. – 2011. – №6. – С. 35 – 39.

2. Селиванов, А.С. Выбор существенного варианта пассажирских перевозок с использованием методов ранжирования / А.С. Селиванов, Ю.М. Краковский // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2012. – №2. – С. 171 – 174.

3. Селиванов, А.С. Обоснование объема выборки для метода Монте-Карло на основе множественного ранжирования / А.С. Селиванов, Ю.М. Краковский, И.А. Домбровский // Вестник ИргСХА. – 2013. – №58. – С. 109 – 116.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ:

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016662516 от 11 ноября 2016 г. Программный комплекс «Выбор наилучшего варианта пассажирских перевозок в условиях неопределенности и рисков» / А.С. Селиванов // Федеральная служба по интеллектуальной собственности. – 2016.

В других изданиях:

5. Селиванов, А.С. Математическое обеспечение по моделированию случайных величин при вероятностном анализе безубыточности / А.С. Селиванов, Ю.М. Краковский, С.Г. Калиновский // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. Иркутск: Изд-во ИргУПС. – 2009. – Вып. 7. – С. 105 – 111.

6. Селиванов, А.С. Имитационная модель для вероятностного анализа безубыточности / А.С. Селиванов, Ю.М. Краковский, С.Г. Калиновский // Материалы XV международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири». – 2009. – С. 252 – 255.

7. Селиванов, А.С. Функциональные возможности программного комплекса для вероятностного анализа безубыточности / А.С. Селиванов, Ю.М. Краковский, Д.И. Жарий // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. Иркутск: Изд-во ИрГУПС. – 2010. – Вып. 8. – С. 20 – 25.

8. Селиванов, А.С. Имитационная модель для вероятностного анализа планируемой деятельности на основе маржинального анализа / А.С. Селиванов // Вестник АГТА. Ангарск: Изд-во АГТА. – 2011. – №5. – С. 9 – 15.

9. Селиванов, А.С. Системный подход к анализу пассажирских перевозок на основе метода Монте-Карло / А.С. Селиванов, Ю.М. Краковский // Материалы межвузовской научно-практической конференции «Транспортная инфраструктура Сибирского региона». – 2012. – С. 183 – 190.

10. Селиванов, А.С. Многокритериальный выбор варианта пассажирских перевозок на основе экономических рисков / А.С. Селиванов, Ю.М. Краковский // Материалы V всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Безопасность критических инфраструктур и территорий». – 2012. – С. 25 – 27.

11. Селиванов, А.С. Многокритериальная оценка инвестиционных проектов на основе вероятностного подхода к оценке показателей их эффективности / А.С. Селиванов, Ю.М. Краковский // Сборник статей XII международной научно-практической конференции «Современные технологии документооборота в бизнесе, производстве и управлении». – 2012. – С. 108 – 111.

12. Селиванов, А.С. Программный комплекс выбора наилучшего варианта пассажирских перевозок / А.С. Селиванов // Сборник статей III международного научно-практического конкурса «Лучшая научно-исследовательская работа 2016». – 2016. – С. 22 – 30.

Подписано в печать 06.09.2017 г.

Формат бумаги 60 × 84 1/16. Бумага офсетная.

Печать трафаретная. Печ. л. 1. Заказ . Тираж 120 экз.
Отпечатано с готового оригинал-макета в ИПО ФГБОУ ВО
«Байкальский государственный университет»
664003, г.Иркутск, ул. Ленина, 11.