

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика
Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Проверка статистической гипотезы о постоянстве корреляционной зависимости временных рядов

УДК 519.233:519.246:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0ВМ61	Чередова Полина Владимировна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семенов М.Е.	к. ф-м. наук, доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Меньшикова Е.В.	Кандидат философских наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	Доктор технических наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения экспериментальной физики	Трифонов Андрей Юрьевич	доктор физ- мат. наук, профессор		

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для теоретических и экспериментальных исследований в области использования ядерной и термоядерной энергии, ядерных и термоядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных и термоядерных материалов, технологий радиационной безопасности, изотопных технологий и материалов в профессиональной деятельности.
P2	Ставить и решать инновационные инженерно-физические задачи, реализовывать проекты в области использования ядерной и термоядерной энергии, ядерных и термоядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, изотопных технологий и материалов.
P3	Создавать теоретические, физические и математические модели, описывающие конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие ионизирующих излучений с веществом и живой материей, физику кинетических явлений, процессы в реакторах, ускорителях, процессы и механизмы переноса радиоактивности в окружающей среде.
P4	Разрабатывать новые алгоритмы и методы: расчета современных физических установок и устройств; исследования изотопных технологий и материалов; измерения характеристик полей ионизирующих излучений; оценки количественных характеристик ядерных материалов; измерения радиоактивности объектов окружающей среды; исследований в радиоэкологии, медицинской физике и ядерной медицине.
P5	Оценивать перспективы развития ядерной и термоядерной отрасли, медицины, анализировать радиационные риски и сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать меры по снижению рисков и обеспечению ядерной и радиационной безопасности руководствуясь законами и нормативными документами, составлять экспертное заключение.
P6	Проектировать и организовывать инновационный бизнес, разрабатывать и внедрять новые виды продукции и технологий, формировать эффективную стратегию и активную политику риск-менеджмента на предприятии, применять методы оценки качества и результативности труда персонала, применять знание основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации.
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P7	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика
 Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
0ВМ61	Чередовой Полине Владимировне

Тема работы:

Проверка статистической гипотезы о постоянстве корреляционной зависимости временных рядов
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Матрица корреляции логарифмических доходностей ежедневных цен закрытия (Close) фьючерсов на индекс РТС (RTS), обыкновенные акции «Сбербанк» (SBRF), «Газпром» (GAZP) и «Норильский Никель» (GMKR) за период с декабря 2015 по декабрь 2017 года</p>				
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>С использованием различных статистических критериев: а) матричный тест Бокса, б) асимптотически непараметрический тест проверить гипотезу о постоянстве корреляционной зависимости временных рядов без допущения о нормальности исходных данных.</p>				
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%; text-align: center;">Раздел</th> <th style="text-align: center;">Консультант</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="height: 20px;"></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Раздел	Консультант		
Раздел	Консультант				

Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Е.В.
Производственная и экологическая безопасность	Федорчук Ю.М.
Иностранный язык	Смирнова У.А.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Введение Объект и методы исследования Расчетная часть Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение Социальная ответственность Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семенов М.Е.	к. ф-м. наук, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0ВМ61	Чередова Полина Владимировна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0ВМ61	Чередова Полина Владимировна

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭФ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	01.04.02 Прикладная математика и информатика

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Стоимость расходных материалов 2. Норматив заработной платы
<i>3. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Коэффициенты для расчета заработной платы
<i>2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Отчисления во внебюджетные фонды (27,1%) 2. Расчет дополнительной заработной платы (12%)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Потенциальные потребители результатов исследования; 2. Анализ конкурентных технических решений; 3. SWOT – анализ 4. Оценка готовности проекта к коммерциализации
<i>1. Разработка устава научно-технического проекта</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Постановка цели, ожидаемых результатов проекта 2. Определение внутренних и внешних заинтересованных сторон проекта 3. Определение ограничений/допущений проекта
<i>1. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Структура работ в рамках научного исследования; 2. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования; 3. Бюджет научно - технического исследования (НТИ)
<i>1. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Определение интегрального финансового показателя разработки; 2. Определение интегрального показателя ресурс эффективности разработки; 3. Определение интегрального показателя эффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Диаграмма FAST
5. Матрица SWOT

- | |
|--|
| 6. График проведения и бюджет НТИ
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
8. Потенциальные риски |
|--|

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Меньшикова Е.В.	Кандидат философских наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0ВМ61	Чередова Полина Владимировна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0ВМ61	Чередова Полина Владимировна

Тема дипломной работы: «Проверка статистической гипотезы о постоянстве корреляционной зависимости временных рядов»

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭФ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	01.04.02 Прикладная математика и информатика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)
<p>2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме</p>	<p>ГОСТ 12.0.003-74, ГОСТ 12.1.003-83, ГОСТ 12.1.006-84, ГОСТ 12.1.009-76, ГОСТ 12.1.019-79, ГОСТ 12.1.036-81, СН 2.2.4/2.1.8.562-96, СНиП 23-05-95, СН-3223-85</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</p>	<ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);

	<ul style="list-style-type: none"> – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)
3. Охрана окружающей среды:	<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.
4. Защита в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	<ul style="list-style-type: none"> – Пути эвакуации – План размещения светильников на потолке рабочего помещения

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	26.02.2018
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Юрий Митрофанович	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОВМ61	Чередова Полина Владимировна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 98 с., 5 рис., 15 табл., 29 источников литературы, 5 приложений.

Ключевые слова: матрица корреляций, статистическая гипотеза, моделирование.

Объектом исследования являются: корреляционные зависимости между эмпирическими и смоделированными данными.

Цель работы – проверка постоянства корреляционной зависимости между эмпирическими и смоделированными данными без допущения о нормальности.

В процессе исследования проделана следующая работа:

- произведен сбор и обработка исходных данных;
- рассмотрены основные свойства коэффициента корреляции и корреляционных матриц;
- применен матричный тест Бокса для сравнения корреляционных матриц;
- запрограммирован асимптотически непараметрический тест для сравнения постоянства корреляционных матриц;

Степень внедрения: средняя; результаты данной работы могут быть использованы для тестирования временных рядов.

Область применения: Экономическая эффективность/значимость работы высокая.

Для проведения расчетов и построения моделей был использован язык программирования R.

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями [24]:

Статистическая гипотеза – определенное предположение о распределении вероятностей, лежащем в основе наблюдаемых случайных явлений. Результаты наблюдений представляются обычно в виде реализации некоторой совокупности случайных величин, конечной или бесконечной, и статистическая гипотеза формулируется как предположение о принадлежности их совместного распределения к некоторому определенному классу распределений;

Статистический критерий – правило, по которому на основе выборочных значений принимается одна из гипотез;

Ошибка первого рода – говорят, что произошла ошибка первого рода если гипотеза H_0 отвергнута критерием, в то время как она верна;

Ошибка второго рода – говорят, что произошла ошибка второго рода, если гипотеза H_0 принята критерием, в то время как была верной гипотеза H_1 .

Уровень значимости критерия – вероятность ошибки первого рода;

P-значение – наименьший уровень значимости отверженной гипотезы H_0 ;

Корреляция – числовая характеристика совместного распределения двух случайных величин, выражающая их взаимосвязь;

Матрица корреляций – квадратная таблица, содержащая коэффициенты корреляции между всеми возможными парами переменных.

Оглавление

Введение	13
1 Объект и методы исследования	16
1.1 Основные определения и свойства мер корреляционной зависимости..	16
1.2 Матричный тест Бокса для ковариационных матриц.....	17
1.3 Тест для сравнения постоянства корреляционных матриц.....	18
1.3.1 Алгоритм построения оценки ковариационной матрицы [21]	20
1.3.2 Генерация данных, не подчиняющихся нормальному закону распределения.....	24
1.3.3 Алгоритм генерации матрицы корреляций [20].....	26
1.3.4 Дополнительные теоретические замечания.....	26
2 Расчетная часть	29
2.1 Исходные данные и предварительная обработка.....	29
2.2 Применение М-теста Бокса для сравнения корреляционных матриц	31
2.3 Применение теста квадратичной формы для сравнения корреляционных матриц	34
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 37	
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	37
3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	37
3.1.2 SWOT-анализ	38
3.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации	39
3.1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	41
3.1.5 Инициация проекта	41
3.1.6 Организационная структура проекта.....	42
3.1.7 Ограничения и допущения проекта.....	43
3.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	43
3.2.1 Иерархическая структура работ проекта	44
3.2.2 Структура работ в рамках научного исследования.....	44
3.2.3 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования.....	46
3.3 Бюджет научно-технического исследования.....	49
3.3.1 Затраты на материалы	50
3.3.2 Основная заработная плата.....	50
3.3.3 Отчисления на социальные нужды.....	53
3.3.4 Накладные расходы.....	53
3.3.5 Затраты на электрическую энергию	54

3.3.6	Формирование бюджета затрат НТИ.....	54
3.4	Выводы	55
4	Социальная ответственность	56
4.1	Анализ опасных и вредных факторов	57
4.2	Производственная безопасность	59
4.2.1	Характеристика помещения. Рабочее место, оценка условий труда на рабочем месте	59
4.2.2	Микроклимат в помещении.....	59
4.2.3	Освещенность рабочей зоны	61
4.2.4	Электробезопасность.....	65
4.2.5	Электромагнитное поле	68
4.2.6	Электростатическое поле.....	69
4.2.7	Производственный шум и вибрация.....	70
4.2.8	Психофизиологические факторы	71
4.3	Экологическая безопасность	72
4.4	Чрезвычайные ситуации	74
4.5	Пожарная безопасность	75
4.6	Выводы и рекомендации.....	77
4.7	Законодательная и нормативная база	78
	Заключение.....	79
	Список использованных источников	80
	Приложение А	83
	Приложение Б	84
	Приложение В	89
	Приложение Г	90
	Приложение Д	91

Введение

Коэффициент корреляции является наиболее широко используемой мерой зависимости между случайными величинами. Для финансовых временных рядов корреляции между логарифмическими доходностями, широко используются, например, в управлении рисками. Однако имеется множество примеров того, что корреляционная структура не может считаться постоянной с течением времени. В частности, в периоды финансовых кризисов наблюдается явление, при котором корреляции между активами значительно изменяются, это явление получило название диверсификационный кризис. Поскольку на практике потенциальные точки изменений неизвестны, исследователи заинтересованы в проверке матрицы корреляции для финансовых временных рядов на ее постоянство. В качестве альтернативной задачи может выступать задача о проверке гипотезы о принадлежности корреляционных матриц одному распределению, например, требуется установить сохранение корреляционной зависимости между сгенерированными временными рядами, т.е. установить, что корреляционные матрицы принадлежат одному закону распределения.

Среди одной из первых работ, посвященных разработке статистических критериев для проверки гипотезы о принадлежности матриц одному распределению можно выделить работу Bartlett [10], который в 1937 году представил результаты по исследованию свойств статистических тестов для проверки указанной гипотезы. Далее в работе Vox [5] предложил теоретическое обоснование использования критерия правдоподобия для проверки постоянства матриц. Позднее Jennrich [14] предложил асимптотический χ^2 -тест для проверки равенства двух корреляционных матриц. В работе Modarres and Jernigan [13] впервые предложены статистические критерии для проверки гипотезы о постоянстве матриц корреляций без допущения о нормальности распределения исходных данных. Steiger [6] в своей работе акцентирует внимание на статистических критериях, которые учитывают наличие или отсутствие зависимости между исходными данными. Далее Sheng et al [4] указывает на недостатки указанных критериев и развивает подходы, которые позволяют

выполнять статистическое тестирование постоянства как для матриц, так и отдельных вектор-столбцов матриц корреляций. Gupta et al [1] предложили методику тестирования постоянства нескольких матриц корреляций. Wied [3] предлагает непараметрический тест для тестирования постоянства матриц корреляций, построенных на основе эконометрических данных.

Разработано множество различных статистических критериев и алгоритмов для сравнения ковариационных матриц [2, 15, 22, 28]. Одним из таких критериев является статистика Уишарта [22], которая основана на методе максимального правдоподобия и позволяет провести проверку гипотезы о равенстве матриц ковариаций. Основным допущением статистики Уишарта (недостатком в нашем случае) является принадлежность переменных нормальному закону распределения. В работе [2] рассмотрен тест Бокса (Box's M test), который используется для сравнения двух и более ковариационных матриц. В статье [15] предложено обобщение оценки Ньюи и Веста [29] асимптотической ковариационной матрицы на случай временных рядов различной частотности и/или с пропусками.

В статье Jones & Waller [28] авторы приводят описание дельта-метода, с помощью которого они предлагают строить оценки ковариационной матрицы, используя при этом только значения корреляционной матрицы. Построение предлагаемой оценки основано на теории асимптотически непараметрических методов (Asymptotic Distribution-Free Methods). Это позволяет авторам сделать вывод о том, что предлагаемый подход оценивания может быть применен к данным, на которые не накладывается требование о нормальности.

Несмотря на развитие теоретического аппарата и широкого использования статистических тестов к настоящему моменту нам не удалось обнаружить функции или пакета на языке R, которые бы позволяли проводить тестирование гипотезы о принадлежности матриц одному статическому распределению без допущения о нормальности исходных данных.

Цель работы: проверка постоянства корреляционной зависимости между эмпирическими и модельными данными без допущения о нормальности.

Для реализации поставленной цели были сформулированы **следующие задачи:**

- 1) сформулировать основную и альтернативную гипотезы о принадлежности матриц корреляций одному распределению.
- 2) рассмотреть возможность использования статистики теста Бокса для сравнения корреляционных матриц;
- 3) разработать программный код для реализации статистического критерия сравнения корреляционных матриц на основе теста квадратичной формы.

1 Объект и методы исследования

1.1 Основные определения и свойства мер корреляционной зависимости

В качестве характеристики меры линейной связи между временными рядами можно использовать коэффициент корреляции. В отличие от ковариации этот коэффициент имеет безразмерную величину. Случайные величины X и Y называются некоррелированными, если коэффициент корреляции $\rho_{x,y} = 0$, положительно коррелированными, если $\rho_{x,y} > 0$, и отрицательно коррелированными, если $\rho_{x,y} < 0$. Значение коэффициента корреляции принадлежит интервалу от -1 до $+1$. Таким образом, коэффициент корреляции характеризует степень линейной зависимости между величинами X и Y , причем если $\rho_{x,y} > 0$, то возрастанию X соответствует возрастание в среднем (условного математического ожидания) Y , а если $\rho_{x,y} < 0$, то возрастанию X соответствует убывание в среднем Y .

Существует несколько вариантов расчета коэффициента корреляции:

- 1) коэффициент Пирсона (Pearson correlation coefficient);
- 2) коэффициент Спирмена (Spearman correlation coefficient);
- 3) коэффициент Кендалла (Kendall's tau);

Коэффициент Пирсона основан на следующих важных допущениях:

- обе анализируемые переменные распределены нормально;
- связь между этими переменными линейна.

Коэффициент Пирсона рассчитывается по формуле:

$$\rho_{x,y} = \frac{Cov(x, y)}{\sqrt{D(x)}\sqrt{D(y)}} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1.1)$$

Для переменных, распределение которых отлично от нормального, а также при наличии нелинейной связи между переменными, следует использовать непараметрический коэффициент корреляции Спирмена. В отличие от

коэффициента Пирсона, этот способ расчета коэффициента работает не с исходными данными, а с их рангами.

Коэффициент Кендалла предполагает, что имеется набор из парных наблюдений для двух переменных: $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$. Говорят, что две пары наблюдений (x_i, y_i) и (x_j, y_j) являются конкордантными, если имеется согласие между рангами соответствующих элементов этих пар, т.е. если

$$\begin{cases} x_i > x_j \\ y_i > y_j \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} x_i < x_j \\ y_i < y_j \end{cases}$$

Рассчитывается коэффициент Кендалла по формуле:

$$\rho_{x,y} = \frac{n_{conc.pairs} - n_{discord.pairs}}{0,5 \cdot n(n-1)}, \quad (1.2)$$

где $n_{conc.pairs}$ – число конкордантных пар, а $n_{discord.pairs}$ – число дискордантных пар.

Коэффициент Кендалла часто используют при анализе того, насколько хорошо согласуются результаты измерений, получаемые при помощи разных приборов, или результаты голосований экспертов по одному и тому же вопросу и т.п.

1.2 Матричный тест Бокса для ковариационных матриц

В данной работе будет рассмотрена возможность применения статистики $M(1-c)$ теста Бокса для сравнения корреляционных матриц. Тест Бокса (Box's M test) используется для сравнения двух и более ковариационных матриц [2]. Предположим, что мы имеем m различных выборок и необходимо проверить нулевую гипотезу о равенстве ковариационные матриц:

$$H_0 : \Sigma_1 = \Sigma_2 = \dots = \Sigma_m$$

Пусть S_1, S_2, \dots, S_m – выборочные оценки ковариационных матриц из m выборок, где каждая оценка S_j основана на независимых наблюдениях n_j , каждое из которых состоит из вектора столбца $k \times 1$ (или вектора строки $1 \times k$).

Теперь определим S как объединенную ковариационную матрицу

$$S = \frac{1}{n-m} \sum_{j=1}^m (n_j - 1) S_j, \quad (1.3)$$

где $n = \sum_{j=1}^m n_j$.

Зная S и n вычислим статистику $M(1-c)$ по формулам соответственно:

$$M = (n-m) \ln |S| - \sum_{j=1}^m (n_j - 1) \ln |S_j| \quad (1.4)$$

$$c = \frac{2k^2 + 3k - 1}{6(k+1)(m-1)} \left(\sum_{j=1}^m \frac{1}{n_j - 1} - \frac{1}{n-m} \right). \quad (1.5)$$

Из теории известно [2], что статистика $M(1-c)$ подчиняется $\chi^2(df)$ распределению с df степенями свободы, если верна нулевая гипотеза H_0 , т.е.

$$M(1-c) \sim \chi^2(df),$$

где $df = \frac{k(k+1)(m-1)}{2}$.

Нулевая гипотеза H_0 о равенстве ковариационных матриц отвергается, если

$$M(1-c) > \chi^2_{\text{крит}} \text{ (или } p\text{-value} < \alpha).$$

Замечание: В случае, если какая-либо из матриц S_j не обратима, то определитель $|S_j| = 0$ и поэтому значение $\ln |S_j|$ вычислить невозможно. Таким образом, становится невозможным определить значение M и тест Бокса не применим.

1.3 Тест для сравнения постоянства корреляционных матриц

В этом разделе кратко приведем теоретическое описание теста отношения правдоподобия и теста в виде квадратичной формы для сравнения корреляционных матриц. Статистические свойства указанных тестов подробно рассмотрены в статье [13].

Тест отношения правдоподобия. Предположим мы имеем k независимых выборок n_i для p -мерного вектора $\overrightarrow{x_{i\alpha}}$, где $i \in 1 \dots k, \alpha \in 1 \dots n_i$ из многомерного

распределения с конечными моментами до восьмого порядка включительно. Тест отношения правдоподобия для многомерного нормального распределения $N(\bar{\mu}_i, \Sigma_i)$ имеет вид:

$$\lambda = \prod_{\alpha=1}^k \left[\frac{|D_i| |R_i| |D_i|}{|\hat{D}_i| |\hat{P}| |\hat{D}_i|} \right]^{n_i/2}, \quad (1.6)$$

где $D_i = \text{diag}(v_{jj}^{1/2}(i))$, v_{jj} – диагональные элементы V_i , R_i и V_i – корреляционная и ковариационная матрицы i -ой выборки соответственно. \hat{P} и \hat{D}_i являются решениями уравнений (1.7) и (1.8).

$$\left(\hat{P}^{-1} \hat{D}_i^{-1} V_i \hat{D}_i^{-1} - I \right)_{j,j} = 0 \quad (1.7)$$

$$\hat{P} = \sum_{i=1}^k (n_i / N) \hat{D}_i^{-1} V_i \hat{D}_i^{-1} \quad (1.8)$$

где $N = n_1 + n_2 + \dots + n_k$. Когда верна нулевая гипотеза H_0 статистика $-2\log(\lambda)$ имеет распределение χ^2 с $(k-1)p(p-1)/2$ степенями свободы.

В двумерном случае

$$\lambda = \prod_{i=1}^2 \left[\frac{(1-r_i^2)(1-\hat{\rho}^2)}{(1-\hat{\rho}r_i)^2} \right]^{n_i/2}, \quad (1.9)$$

где r_i коэффициент корреляции из i -ой выборки ($i=1,2$) и $\hat{\rho}$ наименьшее решение уравнения

$$(n_1 r_2 + n_2 r_1) \hat{\rho}^2 - N(1 + r_1 r_2) \hat{\rho} + (n_1 r_1 + n_2 r_2) = 0. \quad (1.10)$$

Как видно из приведенного теоретического описания использование данного теста предполагает, что исходные данные подчиняются нормальному закону распределения.

Квадратичная форма теста. Пусть $\text{Vech}(R_i)$ – это вектор, полученный из i -ой выборочной корреляционной матрицы R_i путем размещения ее нижнедиагональных элементов друг под другом по столбцам. Пусть P_i

корреляционная матрица. Из литературы [13] известно, что $\sqrt{n_i} \text{Vech}(R_i - P_i)$ имеет асимптотически многомерное нормальное распределение с ковариационной матрицей Γ , элементы которой зависят от моментов четвертого порядка.

Для проверки нулевой гипотезы о равенстве корреляционных матриц

$$H_0 : P_1 = P_2 = P_k = P,$$

где P – не определена, против альтернативной гипотезы

$$H_1 : P_i \neq P_j,$$

хотя бы для одной пары $i \neq j$ статистика имеет вид:

$$Q_m = \sum_{\alpha=1}^k n_{\alpha} \text{Vech}(R_{\alpha} - \bar{R})^T \hat{\Gamma}^{-1} \text{Vech}(R_{\alpha} - \bar{R}), \quad (1.11)$$

где $\hat{\Gamma}$ –любая согласованная оценка Γ и \bar{R} – средневзвешенная корреляционная матрица. Статистика Q_m имеет χ^2 -распределение с $\frac{(k-1)p(p-1)}{2}$ степенями свободы при принятии гипотезы H_0 . Надежность и мощность функции Q_m были исследованы в статье Mordarres et al [13].

Для $k = 2$ статистика (1.11) определяется по формуле

$$Q = \frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2} \text{Vech}(R_1 - R_2)^T \hat{\Gamma}^{-1} \text{Vech}(R_1 - R_2). \quad (1.12)$$

Оценка матрицы Γ может быть получена с помощью выражения:

$$\hat{\Gamma} = \frac{[(n_1 - 1)\hat{\Gamma}_1 + (n_2 - 1)\hat{\Gamma}_2]}{n_1 + n_2 - 2}, \quad (1.13)$$

где оценки $\hat{\Gamma}_1$ и $\hat{\Gamma}_2$ получены с помощью алгоритма Steiger and Hakstian [21] для матриц R_1 и R_2 соответственно.

1.3.1 Алгоритм построения оценки ковариационной матрицы [21]

Для применения квадратичной формы теста, рассмотренного в предыдущем разделе, требуется построить оценку ковариационной матрицы Γ . Для этого будем использовать алгоритм, предложенный Steiger и Hakstian в

статье [21]. Рассмотрим случайные величины X_i, X_j, X_k, X_h и следуя статье [21] будем использовать следующие обозначения:

$$\begin{aligned}\mu_i &= E(X_i) \\ \sigma_{ij} &= E(X_i - \mu_i)(X_j - \mu_j) \\ \sigma_{ijkh} &= E(X_i - \mu_i)(X_j - \mu_j)(X_k - \mu_k)(X_h - \mu_h) \\ \rho_{ij} &= \frac{\sigma_{ij}}{\sqrt{(\sigma_{ii}\sigma_{jj})}} \\ \rho_{ijkh} &= \frac{\sigma_{ijkh}}{\sqrt{\sigma_{ii}\sigma_{jj}\sigma_{kk}\sigma_{hh}}}\end{aligned}$$

Пусть $\sigma_{ii} = \sigma_{jj} = \sigma_{kk} = \sigma_{hh} = 1$. (1.14)

Предположим, что все наблюдения независимы и определим $n = N - 1$, тогда

$$\begin{aligned}\bar{X}_i &= N^{-1} \sum_{r=1}^N X_{ri} \\ s_{ij} &= n^{-1} \sum_{r=1}^N (X_{ri} - \bar{X}_i)(X_{rj} - \bar{X}_j) \\ s_{ijkh} &= n^{-1} \sum_{r=1}^N (X_{ri} - \bar{X}_i)(X_{rj} - \bar{X}_j)(X_{rk} - \bar{X}_k)(X_{rh} - \bar{X}_h) \\ r_{ij} &= \frac{s_{ij}}{\sqrt{s_{ii}s_{jj}}} \\ r_{ijkh} &= \frac{s_{ijkh}}{\sqrt{s_{ii}s_{jj}s_{kk}s_{hh}}}\end{aligned}$$

для упрощения обозначений используем $nLCOV(s_{ij}, s_{kh})$ для обозначения предельной ковариации $\sqrt{n}(s_{ij} - \sigma_{ij})$ и $\sqrt{n}(s_{kh} - \sigma_{kh})$.

Теорема 1. Пусть s – вектор выборочных моментов s_{ij} основанный на N наблюдениях. Пусть σ – вектор констант, содержащий аналогичную совокупность моментов σ_{ij} . Тогда $\sqrt{n}(s - \sigma)$ имеет асимптотическое многомерное нормальное распределение $MVN(\phi, \Gamma)$, где элементы Γ определяются как

$$\gamma_{ij,kh} = nLCOV(s_{ij}, s_{kh}) = \sigma_{ijkh} - \sigma_{ij}\sigma_{kh}. \quad (1.15)$$

Теорема 2. Пусть s – случайный вектор, σ – вектор констант, таких что $\sqrt{n}(s-\sigma)$ имеет асимптотическое многомерное нормальное распределение $MVN(\varphi, \Gamma)$. Пусть вектор $f(s)$ (с элементами $f_i(s)$) – вектор функции элементов s , первые частные производные которого существуют и непрерывный в окрестности $s = \sigma$. Тогда $\sqrt{n}(f(s) - f(\sigma))$ имеет асимптотическое многомерное нормальное распределение $MVN(\varphi, \Gamma^*)$, где $\Gamma^* = D'\Gamma D$, где D – матрица с элементами d_{ij} , где $d_{ij} = \frac{\partial f_i(s)}{\partial s_j} \Big|_{s=\sigma}$ [23].

Как следствие **Теоремы 1** и предположения (1.14) получаем особые случаи:

$$nLCOV(s_{ij}, s_{kh}) = \rho_{ijkh} - \rho_{ij}\rho_{kh}, \quad (1.16)$$

$$nLCOV(s_{ii}, s_{kh}) = \rho_{iikh} - \rho_{ii}\rho_{kh} = \rho_{iikh} - \rho_{kh}, \quad (1.17)$$

$$nLCOV(s_{ii}, s_{kk}) = \rho_{iikk} - \rho_{ii}\rho_{kk} = \rho_{iikk} - 1. \quad (1.18)$$

Определим вектор s как вектор выборочных ковариаций и вариаций X_i, X_j, X_k, X_h в виде:

$$s' = (s_{ii}, s_{jj}, s_{kk}, s_{hh}, s_{ij}, s_{ik}, s_{ih}, s_{jh}, s_{jk}, s_{kh}). \quad (1.19)$$

Пусть вектор σ аналогичный вектор выборочных ковариаций и вариаций. Тогда по **Теореме 1** величина $\sqrt{n}(s-\sigma)$ имеет асимптотически многомерное нормальное распределение $MVN(\varphi, \Gamma)$, где элементы Γ могут быть определены из (1.16)-(1.18). Так, например,

$$\gamma_{ii, jj} = nLCOV(s_{ii}, s_{jj}) = \rho_{ijij} - 1.$$

Рассмотрим вектор $r' = (r_{ij}, r_{kh})$ и $\rho' = (\rho_{ij}, \rho_{kh})$. Для рассмотрения функции, которая отображает s в r воспользуемся **Теоремой 2**. Величина $\sqrt{n}(r-\rho)$ имеет $MVN(\varphi, \Gamma^*)$, где $\Gamma^* = L'\Gamma L$

$$L^* = \begin{pmatrix} -\frac{1}{2}\rho_{ij} & -\frac{1}{2}\rho_{ij} & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{2}\rho_{kh} & -\frac{1}{2}\rho_{kh} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1.20)$$

Здесь знак «штрих» обозначает операцию транспонирования. Особый интерес представляет величина $\gamma_{ij,kh}^*$, которая дает общее выражение для $nLCOV(r_{ij}, r_{kh})$ и которая определяет вариацию коэффициента корреляции как частный случай (его ковариацию с самим собой):

$$\begin{aligned} \gamma_{ij,kh}^* = nLCOV(r_{ij}, r_{kh}) &= \gamma_{ij,kh} + \frac{1}{4}\rho_{ij}\rho_{kh}(\gamma_{ii,kk} + \gamma_{jj,kk} + \gamma_{ii,hh} + \gamma_{jj,hh}) \\ &- \frac{1}{2}\rho_{ij}(\gamma_{ii,kh} + \gamma_{jj,kh}) - \frac{1}{2}\rho_{kh}(\gamma_{kk,ih} + \gamma_{hh,ij}) \end{aligned} \quad (1.21)$$

Таким образом, окончательно запишем

$$\begin{aligned} nLCOV(r_{ij}, r_{kh}) &= nLCOV(s_{ij}, s_{kh}) + \frac{1}{4}\rho_{ij}\rho_{kh} \left(nLCOV(s_{ii}, s_{kk}) + nLCOV(s_{jj}, s_{kk}) \right. \\ &\left. + nLCOV(s_{ii}, s_{hh}) + nLCOV(s_{jj}, s_{hh}) \right) \\ &- \frac{1}{2}\rho_{ij}(nLCOV(s_{ii}, s_{kh}) + nLCOV(s_{jj}, s_{kh})) - \frac{1}{2}\rho_{kh}(nLCOV(s_{kk}, s_{ih}) + nLCOV(s_{hh}, s_{ij})) \end{aligned} \quad (1.22)$$

Используя выражения (1.16)–(1.18) и приводя подобные слагаемые, получим выражение:

$$\begin{aligned} \gamma_{ij,kh}^* = nLCOV(r_{ij}, r_{kh}) &= \rho_{ijkh} + \frac{1}{4}\rho_{ij}\rho_{kh}(\rho_{iikk} + \rho_{jjkk} + \rho_{iiah} + \rho_{jjhh}) \\ &- \frac{1}{2}\rho_{ij}(\rho_{iikh} + \rho_{jjkh}) - \frac{1}{2}\rho_{kh}(\rho_{ijkk} + \rho_{ijhh}) \end{aligned} \quad (1.23)$$

Таким образом, было показано, что при довольно общих условиях для r , вектор элементов корреляционной матрицы $\sqrt{n}(r - \rho)$ имеет асимптотически многомерное нормальное распределение с ковариационной матрицей Γ^* с элементами $\gamma_{ij,kh}^*$, рассчитанными по формуле (1.23).

Для частного случая многомерной нормально распределенной величины можно заменить

$$\rho_{ijkh} = \rho_{ij}\rho_{kh} + \rho_{ik}\rho_{jh} + \rho_{ih}\rho_{jk} \quad (1.24)$$

Подставляя выражение (1.24) в (1.23) получим

$$\begin{aligned} \gamma_{ij,kh(NT)}^* = & \frac{1}{2} \rho_{ij} \rho_{kh} (\rho_{ik}^2 + \rho_{ih}^2 + \rho_{jk}^2 + \rho_{jh}^2) + \rho_{ik} \rho_{jh} + \rho_{ih} \rho_{jk} \\ & - \rho_{ij} (\rho_{jk} \rho_{jh} + \rho_{ik} \rho_{ih}) - \rho_{kh} (\rho_{jk} \rho_{ik} + \rho_{jh} \rho_{ih}) \end{aligned} \quad (1.25)$$

Пусть $\lambda_{ijkh} = \rho_{ijkh} - (\rho_{ij} \rho_{kh} + \rho_{ik} \rho_{jh} + \rho_{ih} \rho_{jk})$ – кумулянта четвертого порядка переменных X_i, X_j, X_k, X_h . Подставляя выражение для λ в (1.23) получим выражение (1.26)

$$nLCOV(r_{ij}, r_{kh}) = \gamma_{ij,kh(NT)}^* + K, \quad (1.26)$$

где

$$\begin{aligned} K = & \lambda_{ijkh} + \frac{1}{4} \rho_{ij} \rho_{kh} (\lambda_{iikk} + \lambda_{jjkk} + \lambda_{iihh} + \lambda_{jjhh}) \\ & - \frac{1}{2} \rho_{ij} (\lambda_{iikk} + \lambda_{jjkh}) - \frac{1}{2} \rho_{kh} (\lambda_{ijkk} + \lambda_{ijhh}) \end{aligned}, \quad (1.27)$$

Окончательно выражение (1.26) представляет собой оценку ковариационной матрицы [21]. В выражении (1.26) слагаемое K можно представить, как «поправочный коэффициент» для данных, которые являются нормальными.

1.3.2 Генерация данных, не подчиняющихся нормальному закону распределения

Для проведения тестирования основной гипотезы о равенстве матриц корреляций без допущения о нормальности исходных данных мы будем использовать метод Монте Карло.

Компьютерное моделирование методом Монте Карло широко используется для моделирования реальных процессов. Все процедуры Монте Карло требуют генерации случайных чисел. Обычно генераторы случайных чисел моделируют равномерное и нормальное распределение. Однако для адекватного воспроизведения реальных данных (в нашем случае эконометрических) требуются случайные числа, не подчиняющиеся нормальному закону распределения.

Флейшман [18] отметил, что распределение реальных значений характеризуется как правило первыми четырьмя моментами (среднее значение, дисперсия, асимметрия и эксцесс). Он представил процедуру генерации случайных чисел с указанными моментами, не принадлежащих нормальному распределению. Это возможно за счет линейной комбинации случайного числа, принадлежащего нормальному закону, его квадрата и куба. Процедуру Флейшмана для генерации ненормальных случайных чисел в одномерном случае можно представить в виде полинома третьей степени:

$$Y = a + bX + cX^2 + dX^3 \quad (1.28)$$

Константы a , b , c и d выбираются таким образом, чтобы обеспечить заданную форму распределения Y . Чтобы определить константы в (1.28) Флейшман выразил первые 4 момента ненормальной переменной Y через первые 14 моментов случайной величины X , подчиняющейся нормальному закону распределения. Поскольку X распределена нормально первые 14 моментов являются известными константами.

С помощью алгебраических преобразований Флейшман записал выражение (1.28) через систему нелинейных уравнений. Для стандартного нормального распределения константы b , c , d можно определить путем совместного решения системы уравнений (1.29)

$$\begin{cases} b^2 + 6bd + 2c^2 + 15d^2 - 1 = 0 \\ 2c(b^2 + 24bd + 105d^2 + 2) - \gamma_1 = 0 \\ 24[bd + c^2(1 + b^2 + 28bd) + d^2(12 + 48bd + 141c^2 + 225d^2)] - \gamma_2 = 0 \end{cases}, \quad (1.29)$$

где $a = -c$, а γ_1, γ_2 – коэффициент асимметрии и коэффициент эксцесса соответственно.

Замечание. В качестве исходных данных для проверки гипотезы о постоянстве корреляционных матриц могут быть использованы как доходности ценных бумаг, так и другие физические величины, изменяющиеся во времени, для которых удалось оценить параметры и установить закон распределения.

1.3.3 Алгоритм генерации матрицы корреляций [20]

В среде программирования R алгоритм построения матрицы корреляций R.samp из исходной матрицы корреляции R1 реализован с помощью функции CorSample(). Формируется квадратная матрица T[N,N], где N – число столбцов исходной матрицы корреляции. Диагональные элементы матрицы T заполняем по правилу:

```
for(i in 1:N) {  
  T[i,i] ← sqrt(rchisq(n = 1, df = (n - i + 1)))  
}
```

где функция rchisq(n, df) – генерирует выборку размера n и имеющую χ^2 распределение с df степенями свободы. Нижнедиагональные элементы матрицы T принадлежат стандартному нормальному закону распределения и заполняются с помощью функции rnorm($n = \left(\frac{N \cdot (N-1)}{2}\right)$), где параметр n определяет количество наблюдений. Искомую матрицу корреляции R.samp определяем с помощью матричного произведения:

$$R.samp = \text{diag}\left(\frac{1}{\sqrt{\text{diag}(A)}}\right) \Omega T T' \Omega \text{diag}\left(\frac{1}{\sqrt{\text{diag}(A)}}\right),$$

где матрица Ω представляет собой транспонированную верхнетреугольную матрицу, полученную с помощью разложения Холецкого исходной матрицы корреляции R: $\Omega = (\text{chol}(R))'$.

1.3.4 Дополнительные теоретические замечания

Для проведения исследований в данной работе мы будем использовать реальные эконометрические временные ряды – логарифмические доходности фьючерских контрактов. В статье [16] показано, что использованные в данной работе временные ряды могут быть описаны с помощью четырехпараметрического распределения Мейкснера.

Приведем явный вид плотности распределения Мейкснера:

$$f_M(x|\alpha, \beta, \delta, \mu) = \frac{\left(2 \cos \frac{\beta}{2}\right)^{2\delta}}{2\alpha\pi\Gamma(2\delta)} \exp\left(\frac{\beta(x-\mu)}{\alpha} \left| \Gamma\left(\delta + i \frac{x-\mu}{\alpha}\right) \right|^2\right),$$

где $\Gamma(z)$ – Гамма-функция, $\alpha > 0$, $|\beta| < \pi$, $\delta > 0$, μ – вещественное. В распределении Мейкснера параметр μ определяет сдвиг, α – масштаб, β – асимметрию, δ – форму распределения. Более подробное описание свойств данного распределения может быть найдено в публикации [15].

Классическое определение числа степеней свободы df (degree of freedom) – количество значений в итоговом вычислении статистики, способных варьироваться, – играет центральную роль в математической статистике (регрессионный анализ, дисперсионный анализ). В приведенном выше определении количество степеней свободы указывает на размерность вектора из случайных величин, количество «свободных» величин, необходимых для того, чтобы полностью определить вектор, т.е. подразумевается, что число степеней свободы должно быть целым числом. Таким образом, число степеней свободы фактически является синонимом словосочетанию сложность математической модели. Для более общих нелинейных процедур аппроксимации данных по сравнению с классической линейной регрессией (например, сглаживание сплайнами, обобщенные аддитивных модели или гребневая регрессия) количество свободных параметров часто либо не определено, либо не соответствует измерению сложности модели.

В работе Efron [26], рассматривая величину df с точки зрения возможности ее использования для сравнения сложности нелинейных моделей, впервые приводит формулу для вычисления df с использованием суммы квадрата ошибок (residual sum of squares, RSS). При этом число степеней свободы может быть не только целым, но и любым действительным числом. Таким образом, определение числа степеней свободы существенно расширяется. В статье Janson et al [27] авторы приводят иллюстративные примеры и геометрическую интерпретацию, которые расширяют возможности классического определения числа степеней свободы.

В нашей дальнейшей работе мы не будем ограничивать значения числа степеней свободы только натуральными числами, а при необходимости будем использовать действительные значения.

2 Расчетная часть

2.1 Исходные данные и предварительная обработка

В данной работе в качестве исходных данных были использованы ежедневные цены закрытия (Close) фьючерсов на индекс РТС (RTS), обыкновенные акции «Сбербанк» (SBRF), «Газпром» (GAZP) и «Норильский Никель» (GMKR) за период с декабря 2015 по декабрь 2017 года ($n=4$ ряда по $T=514$ наблюдений каждый).

По формуле (2.1) был осуществлен переход от исходных цен к логарифмическим доходностям:

$$x_{t,i} = \log \frac{P_{t,i}}{P_{t-1,i}}, \quad (2.1)$$

где $i=1, 2, \dots, n, t$ – временной горизонт $t \in \overline{1, T}$.

Для полученных временных рядов построена матрица корреляции emp , а также мы вычислили первые четыре момента: математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение, асимметрия и эксцесс:

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad (2.2)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\mu - x_i)^2}, \quad (2.3)$$

$$\gamma_1 = \frac{\mu_3}{\sigma^3}, \quad (2.4)$$

$$\gamma_2 = \frac{\mu_4}{\sigma_x^4} - 3. \quad (2.5)$$

Явный вид матрицы emp :

$$emp = \begin{pmatrix} 1,00 & 0,51 & 0,44 & 0,22 \\ 0,51 & 1,00 & 0,36 & 0,21 \\ 0,44 & 0,36 & 1,00 & 0,26 \\ 0,22 & 0,21 & 0,26 & 1,00 \end{pmatrix}.$$

Результаты вычисления первых четырех моментов представлены в таблице 1. Из таблицы видно, что все указанные моменты конечные. Конечность значений позволяет нам использовать тест в квадратичной форме [13].

Таблица 1– Описательные характеристики временных рядов

№	Компания	Тикер	μ	σ	γ_1	γ_2
1	Индекс РТС	RTS	0,00075	0,016	-0,254	6,133
2	Сбербанк	SBRF	0,00154	0,016	-0,083	4,709
3	Газпром	GAZP	-0,00001	0,013	0,443	6,619
4	Норильский никель	GMKR	0,00033	0,015	-0,017	4,276

С помощью теста Шапиро-Уилка было показано, что нулевая гипотеза о принадлежности случайной величины к нормальному распределению для всех рассматриваемых рядов (таблица 1) – не выполняется. Применение классических (гауссовых) моделей при анализе финансовых временных рядов, как правило, приводит к недостаточной точности, занижению вероятности экстремальных явлений (резкий рост, падение стоимости рискованных активов), а также избыточным затратам при построении стратегии хеджирования рисков.

Поскольку гипотеза о нормальности исходных данных не была подтверждена, исследования по выбору подходящего распределения были продолжены. В работе Semenov and Smagulov [16] было показано, что ряды логарифмических доходностей могут быть описаны с использованием распределения Мейкснера. Воспользуемся этим результатом в данной работе. Далее с использованием математического аппарата копул-функций было сгенерировано 1000 многомерных выборок для рассматриваемых временных рядов [16], для которых вычислены 1000 матриц корреляций. Под матрицей *sim* будем понимать усредненную матрицу корреляции, вычисленную по указанным 1000 матрицам.

В данной работе мы использовали два подхода для проверки гипотезы о принадлежности эмпирической *emp* и смоделированной *sim* матриц одному распределению. Сформулируем основную гипотезу

$H_0: emp = sim$ (корреляционные матрицы равны), а
альтернативную гипотезу

$$H_1: emp \neq sim,$$

т.е. мы будем работать с двухсторонней гипотезой.

В первом подходе мы использовали статистику из М-теста Бокса [2], во втором – программно реализовали тест «квадратичной формы» [13]. Опишем подробнее каждый из подходов.

2.2 Применение М-теста Бокса для сравнения корреляционных матриц

Одной из задач данной работы является проведение исследований, в результате которых мы получим ответ на вопрос: можно ли использовать М-тест Бокса для проверки изучаемой гипотезы.

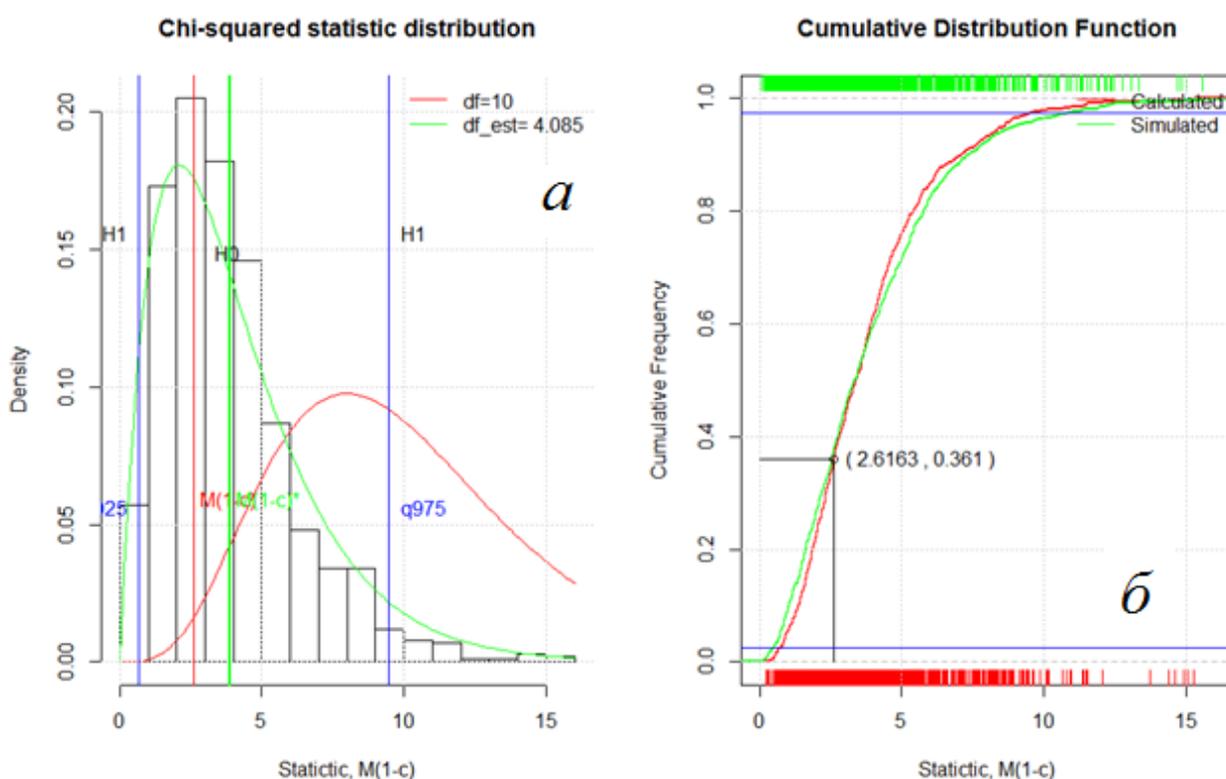


Рисунок 1- а) гистограмма плотности распределения и
б) кумулятивные функции распределения статистики $M(1-c)$

Из литературы [2] известно, что для применения М-теста Бокса исходные данные должны подчиняться нормальному распределению. В нашем случае установлено, что это условие не выполняется. Более того этот тест разработан для

сравнения ковариационных матриц. Поэтому для проверки выдвинутой гипотезы H_0 мы поступили следующим образом: используя эмпирическую матрицу *emp* и матрицу *sim*, полученную через усреднение 1000 модельных матриц, мы вычислили статистику $M(1-c)$ из теста М-тест Бокса по правилам (1.4)-(1.5). В результате вычислений эта величина оказалась равной $M(1-c) = 2,6163$ (красная вертикальная линия на рис. 1а). Затем мы повторили эту процедуру $N=1000$ раз и на каждом шаге вычисляли усредненную матрицу $sim[i]$ и значение статистики $M(1-c)[i]$, $i=1, 2, \dots, N$. Таким образом, мы получили вектор из 1000 значений статистик $M(1-c)$. Для этого векторы мы построили гистограмму плотности распределения (рис. 1, слева).

Из литературы [2] известно, что статистика $M(1-c)$ имеет χ^2 -распределение. Для того, чтобы определить критическую область принятия основной гипотезы H_0 нам потребовалось вычислить две квантили χ^2 -распределения. Для этого с использованием метода максимального правдоподобия (функция `fitdistr` из пакета MASS) мы по выборке из $N=1000$ наблюдений оценили параметр этого распределения – число степеней свободы. В результате оцененное значение параметра оказалась равным $df_est=4,085$. Заметим, что теоретически согласно формуле $df = \frac{k(k+1)(m-1)}{2}$ [2] число степеней свободы равно 10. Устанавливая доверительную вероятность равной $\alpha=0,05$ мы вычислили две квантили χ^2 -распределения:

$$\chi^2\left(\frac{\alpha}{2}, df\right) \text{ и } \chi^2\left(1-\frac{\alpha}{2}, df\right).$$

Полученные значения квантилей обозначены на рис. 1а двумя синими вертикальными линиями подписаны $q025$ и $q975$ соответственно. В результате проделанных вычислений мы определили области принятия альтернативной и основной гипотез, на рис. 1 они отмечены $H1$ (слева и справа), $H0$ (по центру) соответственно. Из рис. 1 видно, что оценка $M(1-c)^*$ лежит в области принятия основной гипотезы:

$$\chi^2\left(\frac{\alpha}{2}, df\right) < M(1-c)^* < \chi^2\left(1 - \frac{\alpha}{2}, df\right).$$

Это позволило сделать нам вывод о том, что матрица корреляции *sim* для сгенерированных рядов соответствуют исходной матрице корреляции *emp*. Красная вертикальная линия на рис. 1а соответствует оценке $M(1-c)^*$, полученной по эмпирическим данным при $df=10$.

Далее мы продолжили наше исследование и построили кумулятивные функции распределения статистики $M(1-c)$ (рис. 1б) при разных степенях свободы: 10 (красная кривая) и 4,085 (зеленая кривая). Из рис. 1б видно, что вне зависимости от выбранного способа определения числа степеней свободы df (теоретическое или оценка по выборке) значения функции распределения в точке 2,6163 лежит между 0,025 и 0,0975 (отмечены горизонтальными синими линиями). В завершение данного этапа исследований мы выполнили критерий однородности Колмогорова-Смирнова, который показал, что эмпирическое распределение статистики $M(1-c)$, построенное при $df=10$ соответствует модельному распределению, полученному при $df_{est}=4,085$: для уровня значимости 0,05 значение $p\text{-value} = 0,06919$, статистика критерия $D = 0,058$.

Использование данного подхода требует генерации случайной величины (в данном случае это статистика $M(1-c)$) через использование математической модели, построенной с использованием копула-функций в работе [16], поэтому мы продолжили наши исследования и реализовали альтернативных подход к проверке гипотезы о постоянстве корреляционных матриц. Для применения указанного подхода потребуются только первые четыре момента и матрица корреляций для логарифмических доходностей. Указанные входные данные могут быть получены по исходным временным рядам. Конечность первых четырех моментов была установлена ранее и их значения приведены в таблице 1.

2.3 Применение теста квадратичной формы для сравнения корреляционных матриц

Для проверки на постоянство корреляционных матриц был использован тест квадратичной формы [13]. В качестве очевидного преимущества данного подхода отметим, что для проведения моделирования мы будем использовать только матрицу корреляций, вычисленную для логарифмических доходностей, а также моменты третьего и четвертого порядков (табл. 1), т.е. входные данные мы можем вычислить по исходным временным рядам, не прибегая к использованию результатов работы [16].

Построим гистограмму распределения статистики Q . Для этого выполним $N=1000$ итераций, на каждом шаге для генерации корреляционной матрицы sim мы будем использовать алгоритм [20], векторы значений моментов третьего и четвертого порядков будем зашумлять стандартными нормально распределенными случайными величинами и для них проводить генерацию матриц методом Монте Карло [18, 19], на основании которых будем строить оценку матрицы ковариации [21].

Входные данные. Корреляционная матрица – $R1$, коэффициент асимметрии – $skew_vec$, коэффициент островершинности (эксцесс) – $kurt_vec$, n – число переменных.

1. Построим функцию `my_function` для расчета значения статистики Q :
 - 1.1 С помощью функции `corSample(R1, n)` сгенерируем корреляционную матрицу $R2$ из матрицы корреляции $R1$ [20];
 - 1.2 С помощью функции `monte1(seed, nvar, nsub, cormat, skewvec, kurtvec)` моделируем многомерные ненормальные данные методом, описанным [18, 19]. Результат записываем в $X1$ и $X2$ для матриц корреляции $R1$ и $R2$ соответственно;
 - 1.3 С помощью выражения Steiger-Hakstain получим оценку матриц $G1$ и $G2$. Используем функцию `adfCor(X, y = NULL)` для вычисления асимптотической ковариационной матрицы из матрицы корреляций;

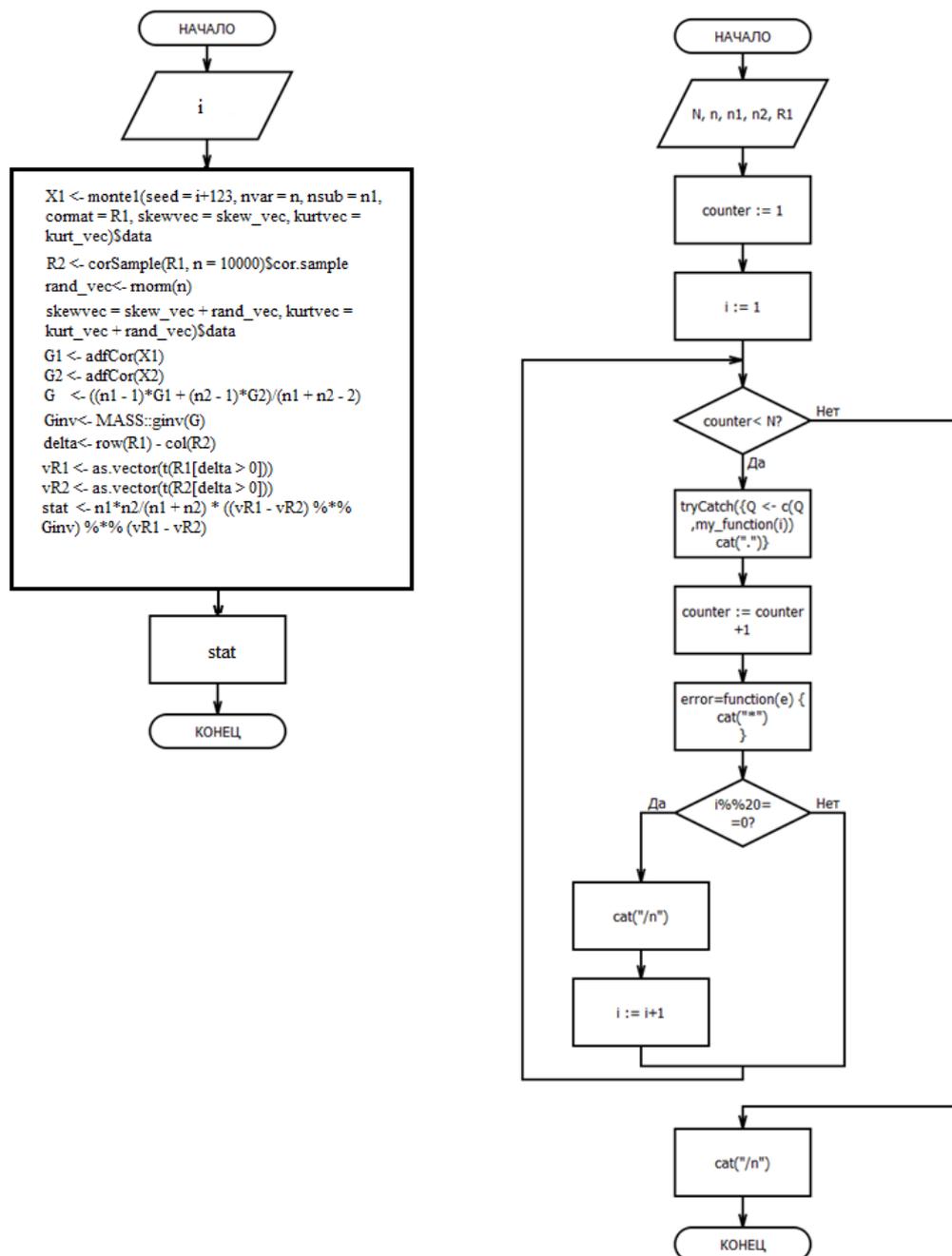


Рисунок 2 – блок-схемы функций: my_function и dist_statistic

- 1.4 По формуле (1.13) получим оценку матрицы G ;
- 1.5 С помощью выражения (1.12) вычислим значение статистики Q .
2. Вычислим значение статистики Q_{emp} для эмпирических данных;
3. Вычислим значения ряда статистик $Q_{sim}(N=1000)$ для смоделированных данных.

Выходные данные. Гистограмма плотности распределения и кумулятивная функция распределения статистики Q .

Данный алгоритм был реализован в среде статистического программирования R. Результаты работы алгоритма представлены на рис. 3. Обозначения, приведенные на рис. 3, соответствуют определениям, сделанным ранее для рис. 1.

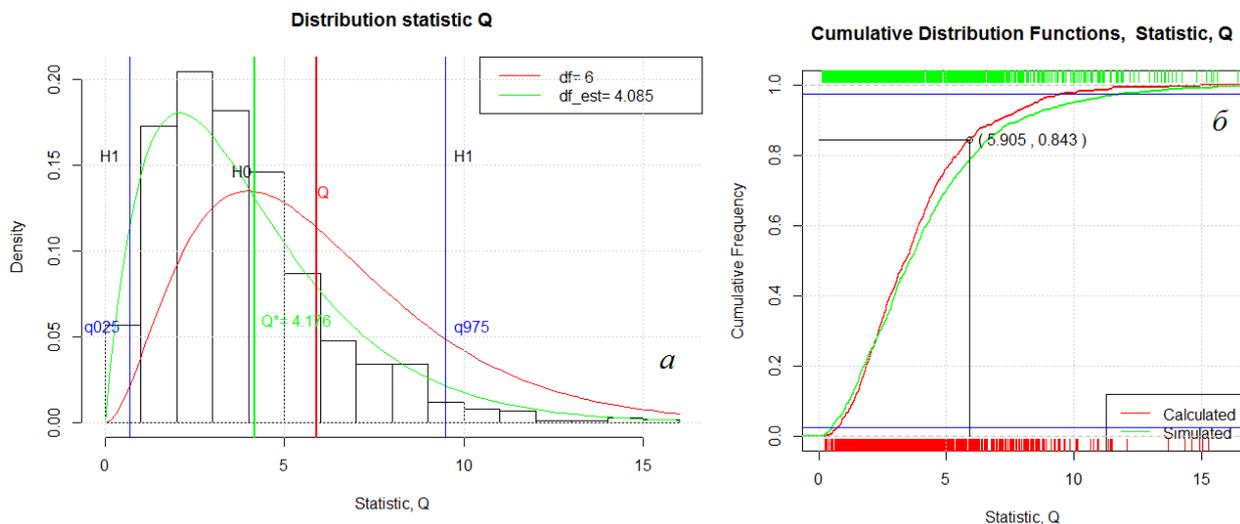


Рисунок 3 – а) гистограмма плотности распределения и б) кумулятивная функция распределения статистики Q

Поскольку найденное значение статистики $Q=5,90$ лежит между критическими уровнями принятия гипотезы H_0 , можно сделать вывод о том, нет оснований отвергать основную гипотезу на уровне значимости 0,05 (рис. 3а).

Аналогично предыдущему разделу мы вычислили значение критерия однородности Колмогорова-Смирнова, который показал, что эмпирическое распределение статистики Q , построенное при $df=6$ соответствует модельному распределению, полученному при $df_est=4,085$: для уровня значимости 0,05 значение $p\text{-value} = 0,0256$, статистика критерия $D = 0,066$.

Заметим, что в ходе проведения моделирования на каждой итерации необходимо обращать матрицу, сформированную из элементов случайной природы (например, методом Холецкого). В такой ситуации обратная матрица не всегда существует, т.к. исходная матрица может оказаться вырожденной или плохо обусловленной. В ходе численных экспериментов на $N=1000$ выборок таких исключительных ситуаций встречается в среднем 12 раз. Для решения указанной проблемы в программе предусмотрен обработчик исключительных событий `trycatch()`. Листинг приведен в приложении Б.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

В зависимости от категории потребителей (коммерческие организации, физические лица) необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. Например, для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение, отрасль, выпускаемая продукция, размер и др. Для физических лиц критериями сегментирования могут быть: возраст, пол, национальность, образование, уровень дохода, социальная принадлежность, профессия.

Потенциальные потребители результатов исследования.

Услуги по формированию портфеля, сформированного из валютных пар: российские брокерские компании; иностранные брокерские компании; российские частные инвесторы; иностранные частные инвесторы.

Услуги по управлению портфелем, сформированного из валютных пар: российские брокерские компании; иностранные брокерские компании; российские частные инвесторы; иностранные частные инвесторы.

		Виды использования сформированных портфелей	
		Формирование портфеля	Управление портфелем
Виды потребителей	Иностранные частные инвесторы		
	Российские частные инвесторы		
	Иностранные брокерские компании		
	Российские брокерские компании		

Фирма А Фирма Б

Рисунок 4 – Карта сегментирования рынка услуг

3.1.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Разработанная для данного исследования матрица SWOT представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Высокая прогностическая способность модели 2. Программа для выполнения необходимых расчетов находится в открытом доступе 	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Большая теоретическая база применяемых математических методов 2. Возможность использования модели людей с профильным математическим образованием
--	---	--

Продолжение таблицы 2 – Матрица SWOT

<p>Возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Использование модели для любых временных рядов (широкий спектр применения) 2. Появление дополнительного спроса на используемые для расчетов методы 	<p>В связи с тем, что рассматриваемые методы для сравнения корреляционных матриц имеют высокую прогностическую способность и могут применяться для любых временных рядов, а программа для выполнения необходимых расчетов находится в открытом доступе, это позволяет расширить круг потенциальных клиентов.</p>	<p>При обработке данных могут возникнуть проблемы с интерпретацией полученных результатов. Результаты анализа представляют собой подтверждение или опровержение статистических гипотез. Основываясь на результатах проверки данных гипотез, аналитик делает выводы и интерпретирует их на исходную базу данных.</p>
<p>Угрозы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Отсутствие спроса на предлагаемые услуги 2. Потеря финансовых средств в случае убыточного портфеля (для финансовых временных рядов) 	<p>Данная модель включает в себя различные статистические методы для сравнения корреляционных матриц, используемые алгоритмы имеют высокую прогностическую способность, что в целом повышает качество модели. Однако, любой статистический метод не дает 100% гарантии на получение достоверных результатов, в связи с этим есть вероятность потери финансовых активов.</p>	<p>Сложность в использовании и интерпретации полученных результатов, вследствие большой теоретической базы могут понизить спрос на разработанную модель для сравнения корреляционных матриц, а могут привести к убыткам в случае недостаточной осведомленности аналитика.</p>

В ходе проведения SWOT - анализа были выявлены сильные и слабые стороны научно-исследовательского проекта, а также его возможности и вероятные угрозы.

3.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить форму (табл. 3), которая содержит показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта.

Таблица 3 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	4
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	4
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	5	3
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	4
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	4
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	3
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	3
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	1	1
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	5	4
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	5
15	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
ИТОГО БАЛЛОВ		56	48

По результатам проведенной оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации суммарное количество баллов по степени проработанности научного проекта превышает уровень имеющихся знаний у разработчика.

Согласно полученным баллам, можно сказать, что перспективность данной разработки выше среднего.

3.1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

При коммерциализации научно-технических разработок продавец (владелец соответствующих объектов интеллектуальной собственности) преследует определенную цель, которая во многом зависит от того, куда он намерен направить полученный коммерческий эффект. Это может быть получение средств для продолжения научных исследований, одноразовое получение финансовых ресурсов, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания. В связи с этим необходимо выбрать наиболее подходящий метод коммерциализации и обосновать его целесообразность.

Выделяют следующие методы коммерциализации научных разработок: торговля патентными лицензиями, передача ноу-хау, инжиниринг, франчайзинг и пр.

Перспективность данного научного исследования выше среднего, однако еще не все аспекты глубоко изучены и проработаны. Проанализировав перечисленные методы коммерциализации, успешному продвижению проекта на данной стадии, на которой находится научный проект, соответствует торговля патентными лицензиями. Поскольку степень проработанности проекта и уровня знаний разработчика будет достаточно для реализации данного метода.

3.1.5 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание, фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат. Данная информация закрепляется в уставе проекта.

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать.

Таблица 4 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Профессорско - преподавательский состав кафедры Высшей математики и математической физики Отделения экспериментальной физики НИ ТПУ	Создание математического аппарата для проверки постоянства корреляционной зависимости между эмпирическими и симулированными данными без допущения о нормальности

Таблица 5 – Цели и результат проекта

Цели проекта	Проверка постоянства корреляционной зависимости между эмпирическими и симулированными данными без допущения о нормальности
Ожидаемые результаты проекта	Разработка алгоритма в среде R для сравнения корреляционных матриц без допущения о нормальности исходных данных
Критерии приемки результата проекта	Адекватность полученных результатов
Требования к результату проекта	Требование:
	Поскольку результаты анализа представляют собой подтверждение или опровержение статистических гипотез, одним из основных требований является получение результата на уровне значимости α не более 0,05.

3.1.6 Организационная структура проекта

На данном этапе необходимо сформировать рабочую группу, определить роль каждого участника, прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте.

№ п/п	ФИО, основное место работы	Роль в проекте	Функции	Трудозатр. час.
1	Семенов М.Е. Доцент кафедры ВММФ	Руководитель	Координация действий участников проекта	56
2	Чередова П.В. Магистр	Исполнитель	Выполнение НИР	504
ИТОГО:				560

3.1.7 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта.

Таблица 6 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
Источник финансирования	НИ ТПУ
Сроки проекта	01.03.2018 – 31.05.2018
Дата утверждения плана управления проектом	01.03.2018
Дата завершения проекта	31.05.2018
Прочие ограничения и допущения	Отсутствуют

3.2 Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- Формирование иерархической структуры работ проекта;
- Определение ключевых (контрольных) событий проекта;
- Построение календарного и сетевого графиков проекта;
- Планирование бюджета научного исследования.

3.2.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ - это детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рис. 5 представлена ИСР для выполнения дипломной работы.

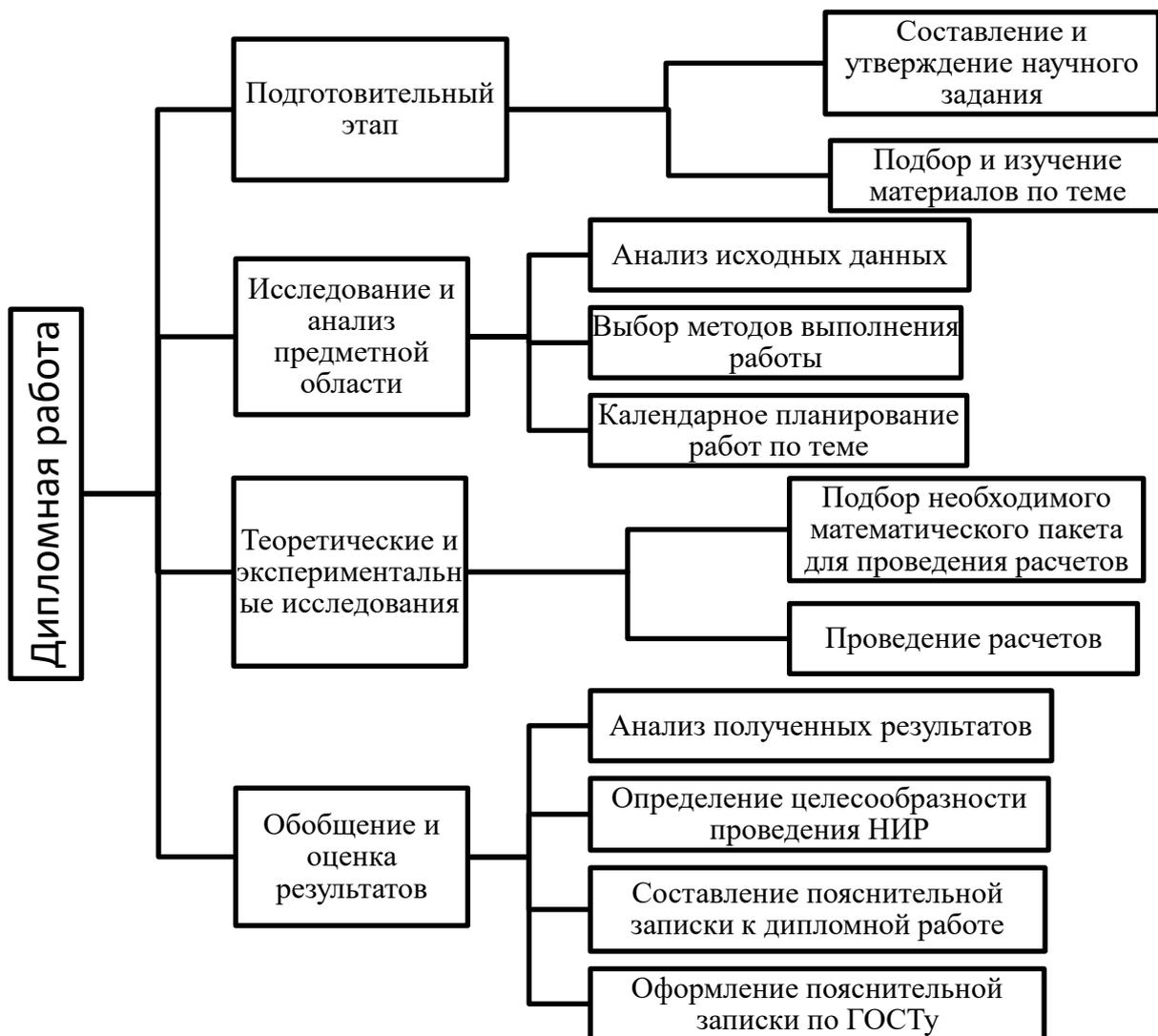


Рисунок 5 – Иерархическая структура работ проекта

3.2.2 Структура работ в рамках научного исследования

Трудоемкость выполнения ВКР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для выполнения научно-исследовательской работы формируется рабочая группа, в состав которой могут входить:

- Руководитель проекта (Р);
- Инженер (дипломник) (И).

На следующем этапе составляется перечень работ в рамках проведения научного исследования, а также проводится распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 7.

Таблица 7 - Комплекс работ по разработке проекта

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
Подготовительный	1	Составление и утверждение научного задания	Руководитель Инженер
	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
Исследование и анализ предметной области	3	Анализ исходных данных	Инженер
	4	Выбор метода выполнения работы	Руководитель Инженер
	5	Календарное планирование работ по теме	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Подбор необходимого математического пакета для проведения расчетов	Инженер
	7	Проведение расчетов	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ результатов работы	Инженер
	9	Определение целесообразности проведения НИР	Руководитель Инженер
	10	Составление пояснительной записке к ВКР.	Инженер
	11	Оформление пояснительной записки к ВКР по ГОСТу.	Инженер

3.2.3 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 2 \cdot t_{\max\ i}}{5}, \quad (3.1)$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -й работы, человеко-дни;

$t_{\min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -й работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), человеко-дни;

$t_{\max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -й работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), человеко-дни;

Рассчитаем значение ожидаемой трудоемкости работы.

Установление длительности работ в рабочих днях осуществляется по формуле:

$$t_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (3.2)$$

где t_{pi} – трудоемкость работы, человеко-дни;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее

удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot K_{кал}, \quad (3.3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения работы в рабочих днях;

$K_{кал}$ – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности определяется по формуле:

$$K_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{пр} - T_{вых}}, \quad (3.4)$$

где $T_{кал}$ – календарное число дней в году;

$T_{пр}$, $T_{вых}$ – число праздничных и выходных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе необходимо округлить до целого числа.

Вычислим коэффициент календарности:

$$K_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{пр} - T_{вых}} = \frac{365}{365 - 114} = 1,45.$$

Таблица 8 – Временные показатели осуществления комплекса работ

№ работ	Продолжительность работ			Исполнитель	t_{pi} , человеко-дни	t_{ki} , человеко-дни
	t_{minj} , человеко-дни	t_{maxj} , человеко-дни	$t_{ожj}$, человеко-дни			
1	1	6	4	Р, И	2	3
2	10	17	14	И	14	20
3	2	9	6	И	6	8
4	5	7	6	Р, И	3	5
5	1	3	2	И	2	3
6	1	1	1	И	1	2
7	10	17	14	И	14	20
8	4	6	5	И	5	7
9	3	5	4	Р, И	2	3
10	9	11	10	И	10	15
11	3	5	4	И	4	6

Календарный план-график выполнения работ представим в виде таблицы 9.

Таблица 9 – диаграмма Ганта

Календарный план-график проведения НИОКР по теме												
№	Наименование работы	Исполнители	Т, дни	Продолжительность выполнения работ, дни								
				Март			Апрель			Май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель Инженер	3	■								
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	20		■	■						
3	Анализ исходных данных	Инженер	8			■						
4	Выбор метода выполнения работы	Руководитель Инженер	5				■					

5	Календарное планирование работ по теме	Инженер	3				
6	Подбор необходимого математического пакета для проведения расчетов	Инженер	2				
7	Проведение расчетов	Инженер	20				
8	Анализ результатов работы	Инженер	7				
9	Определение целесообразности проведения НИР	Руководитель	3				
		Инженер					
10	Составление пояснительной записки к ВКР.	Инженер	15				
11	Оформление пояснительной записки к ВКР по ГОСТу.	Инженер	6				

Руководитель



Инженер



3.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета используется следующая группировка затрат по статьям:

- Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты;
- Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- Основная заработная плата;
- Дополнительная заработная плата;
- Отчисления на социальные нужды;
- Научные и производственные командировки;
- Оплата работ, выполненных сторонними организациями и предприятиями;

- Прочие прямые расходы;
- Накладные расходы.

3.3.1 Затраты на материалы

Данная статья отражает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта, включая расходы на их приобретение и доставку. Транспортные расходы принимаются в пределах 3-5% от стоимости материалов. В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы.

Расчет затрат на материалы производится по форме, приведенной в таблице 10.

Таблица 10 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Сумма, руб.
Бумага	Пачка	1	250	250
Flashcard, 16 Гб	Шт.	1	590	590
Картридж для принтера	Шт	1	2500	2500
Ручка	Шт	1	30	30
Блокнот	Шт	1	120	120
Итого				3490

3.3.2 Основная заработная плата

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{zn} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (3.5)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (3.61)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (3.72)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5 – дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя.

Таблица 11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	104	52
– выходные дни	14	14
– праздничные дни		
Потери рабочего времени	24	48
– отпуск		
– невыходы по болезни		

Действительный годовой фонд рабочего времени	223	251
--	-----	-----

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_б \cdot (k_{пр} + k_д) k_p, \quad (3.8)$$

где $Z_б$ – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, определяется Положением об оплате труда;

$k_д$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 г.Томск.

Пример расчета заработной платы для руководителя:

$$Z_m = Z_б \cdot k_p = 33130 \cdot 1,3 = 43069 \text{ руб.}$$

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{\Gamma_д} = \frac{43069 \cdot 11,2}{223} = 2163 \text{ руб.}$$

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 2163 \cdot 7 = 15141 \text{ руб.}$$

Пример расчета заработной платы для инженера:

$$Z_m = Z_б \cdot k_p = 9893 \cdot 1,3 = 12861 \text{ руб.}$$

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{\Gamma_д} = \frac{12861 \cdot 10,4}{251} = 533 \text{ руб.}$$

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 533 \cdot 63 = 33579 \text{ руб.}$$

Таблица 12 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_б$, руб	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб	T_p , дни	$Z_{осн}$, руб
Руководитель	33 180	1,3	43 069	2 163	7	15 141
Инженер	9 893	1,3	12 861	533	63	33 579
ИТОГО						48 720

3.3.3 Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (3.10)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность водится пониженная ставка – 27,1%

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	Основная ЗП, руб.
Руководитель	15 141
Инженер	33 579
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271
ИТОГО	13 203

3.3.4 Накладные расходы

В эту статью расходов включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря и пр. В расчетах эти расходы принимаются в размере 15% от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Расчет накладных расходов ведется по формуле:

$$C_{накл} = З_{осн} \cdot k_{накл},$$

где $k_{накл}$ – коэффициент накладных расходов.

$$Z_{накл} = 48720 \cdot 0,15 = 7308 \text{ руб.}$$

3.3.5 Затраты на электрическую энергию

Основные работы при выполнении ВКР проводились за персональным компьютером (ноутбуком). В среднем в сутки работа на компьютере составляла 8 часов. На выполнение необходимых расчетов, описание полученных результатов и оформление ВКР было затрачено 560 часов. Мощность ноутбука 51 Вт/ч.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле

$$C_{эл} = S \cdot W \cdot T = \frac{5,8 \cdot 51 \cdot 560}{1000} = 165 \text{ руб.} \quad (3.11)$$

где S – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб. за 1 кВт·ч);

W – энергопотребление, Вт/ч;

T – время использования оборудования, ч.

Таким образом затраты на электрическую энергию составили 165 руб.

3.3.6 Формирование бюджета затрат НТИ

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	3 490
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	48 720
3. Отчисления во внебюджетные фонды	13 203
4. Накладные расходы	7 308
5. Затраты на электроэнергию	165
6. Бюджет затрат НТИ	72 886

3.4 Выводы

В процессе выполнения части работы по финансовому менеджменту, ресурсоэффективности и ресурсосбережению был проведен анализ разрабатываемого исследования.

Во-первых, оценен коммерческий потенциал и перспективность проведения исследования. Полученные результаты говорят о потенциале и перспективности на уровне выше среднего.

Во-вторых, проведено планирование НИР, а именно: определена структура и календарный план работы, трудоемкость и бюджет НИИ. Результаты соответствуют требованиям к ВКР по срокам и иным параметрам.

В-третьих, определена эффективность исследования в разрезах ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности.

4 Социальная ответственность

С каждым годом все больше внимания уделяется вопросам безопасности трудящихся на рабочем месте. Одной из основных задач является охрана здоровья трудящихся, ликвидация различных видов производственных травм и заболеваний.

В последнее время все большее применение находят электронно-вычислительные машины (ЭВМ) как на производстве, так и для научно-исследовательских и конструкторских работ, а также в сфере управления и образования. Компьютеры являются неотъемлемой частью работы на предприятиях, в организациях, офисах и в домашних условиях. Однако компьютер является источником вредного воздействия на организм человека, а, следовательно, и источником профессиональных заболеваний. Это предъявляет к каждому пользователю персонального компьютера требование – знать о вредном воздействии ПЭВМ на организм человека и необходимых мерах защиты от этих воздействий.

Целью настоящего раздела является: выявление и изучение вредных и опасных производственных факторов при работе с ПЭВМ и определение способов их устранения; оценка условия труда; рассмотрение вопросов техники безопасности, безопасности в чрезвычайных ситуациях и охраны окружающей среды.

Объектом исследования является рабочее место и помещение, в котором оно находится.

Характеристика помещения, где была разработана бакалаврская работа: ширина комнаты составляет $b = 4$ м, длина $a = 6$ м, высота $H = 2,8$ м. Тогда площадь помещения будет составлять 24 м^2 , объем $67,2\text{ м}^3$. В помещении имеется окно, через которое осуществляется вентиляция помещения. В помещении отсутствует принудительная вентиляция, т.е. воздух поступает и удаляется через дверь и окно, вентиляция является естественной. В зимнее время помещение отапливается, что обеспечивает достаточное, постоянное и равномерное

нагревание воздуха. В помещении используется комбинированное освещение - искусственное и естественное. Искусственное освещение создается люминесцентными лампами типа ЛБ. Рабочая поверхность имеет высоту 0,75м. Конструкция стола соответствует нормам СН 245-78. Стол оборудуется специальными ящиками с необходимыми для работы предметами. Электроснабжение сети переменного напряжения 220В. Помещение без повышенной опасности в отношении поражения человека электрическим током по ГОСТ 12.1.013-78.

Компьютер, расположенный на рабочей поверхности высотой 0.77 м, обладает следующими характеристиками: IntelCore i7-4710HQ, оперативная память 6144 МБ, система Microsoft Windows 10, частота процессора – 2.5 ГГц, 15.6-и дюймовый монитор с разрешением 1920 на 1080 точек и дискретной видеокартой Nvidia Geforce 840m.

4.1 Анализ опасных и вредных факторов

Вредным называется производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению работоспособности. При изменении уровня и времени воздействия вредные производственные факторы могут стать опасными.

Опасными считаются производственные факторы, воздействие которых на работающего в конкретных условиях может привести к травмам, а также другим внезапным резким ухудшениям здоровья.

При работе с ПЭВМ пользователь подвергается воздействию опасных и вредных производственных факторов:

- электромагнитных полей;
- электростатических полей;
- шуму и вибрации;
- микроклимат в помещении;
- освещенность рабочей зоны;
- психофизиологические факторы.

Эти факторы могут привести к ухудшению здоровья пользователя, а также к профессиональным заболеваниям. Кроме того, вынужденная неудобная рабочая поза, длительное сосредоточенное наблюдение, из которого 20% приходится на непосредственное наблюдение за экраном видеодисплейного терминала, вызывают повышенное напряжение мышц зрительного аппарата, а в комплексе с неблагоприятными производственными факторами обуславливают развитие общего утомления и снижение работоспособности.

Отрицательное воздействие ПЭВМ на человека носит комплексный характер комбинации вредных и опасных производственных факторов:

- монитор компьютера является источником: электромагнитного поля (ЭМП); электростатического поля; рентгеновского излучения; вредного действия светового потока и отраженного света;
- значительной нагрузке подвергается зрительный аппарат в результате несовершенства способов создания изображения на экране монитора;
- работа компьютера сопровождается акустическими шумами, включая ультразвук;
- несоблюдение эргономических параметров, обеспечивающих безопасность приёмов работы пользователя ПЭВМ: гигиенических и психофизиологических, антропометрических и эстетических может повлечь снижение эффективности действий человека.

Для прекращения неблагоприятного воздействия вредных факторов при работе с ВДТ и ПЭВМ определены санитарно-гигиенические требования к обеспечению безопасных условий труда. Анализ санитарно-технических условий помещения (площади и объема производственного помещения, освещенности, микроклимата, вентиляции, шумов и различных видов излучений), оценка вредных факторов и приведение их к требованиям нормативных документов могут обеспечить безопасные условия труда.

4.2 Производственная безопасность

4.2.1 Характеристика помещения. Рабочее место, оценка условий труда на рабочем месте

Согласно санитарным нормам СанПин 2.2.2.542-96, на каждого работника должно быть выделено не менее 6м² площади и не менее 20м³ объема, при высоте помещения – 2,8м, расстояние от глаз до клавиатуры, экрана и документов было 500 – 600мм, клавиатура находилась на высоте 740 – 790мм от уровня пола, верхний край дисплея находился на уровне прямого взгляда, а нижний – не ниже 40° от прямого взгляда.

Площадь исследуемого помещения составляет 24 м². Количество рабочих мест $n = 1$. Тогда на одного рабочего приходится

$$\frac{S}{n} = \frac{24}{1} = 24 \text{ м}^2.$$

Объем помещения на одного человека составляет:

$$V = \frac{S \cdot h}{n} = \frac{24 \cdot 2,8}{1} = 67,2 \text{ м}^3.$$

Согласно полученным результатам, можно сделать вывод о соответствии рассчитанных характеристик нормативным требованиям.

4.2.2 Микроклимат в помещении

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды помещений, который определяется действующими на человека сочетаниями температур воздуха и поверхностей, относительной влажности воздуха, скорости движения воздуха и интенсивности теплового излучения. Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма. В санитарных нормах СН-245-71 установлены величины параметров микроклимата, которые создают комфортные условия. Эти нормы зависят от времени года, характера трудового процесса и характера производственного помещения. Данные показатели оказывают большое влияние

на функциональную деятельность человека, его самочувствие, здоровье, надежность работы.

Нормы оптимальных и допустимых показателей микроклимата при работе с ЭВМ устанавливает СанПиН СанПиН 2.2.4.548-96. 2.2.4. Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности. Все категории работ разграничиваются на основе интенсивности энергозатрат организма в ккал/ч (Вт). Работа, производимая сидя и сопровождаемая незначительным физическим напряжением, относится к категории Ia – работа с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт). Для данной категории допустимые нормы микроклимата представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений.

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	(22÷24)	(40÷60)	0,1
Теплый	Ia	(23÷25)	(40÷60)	0,1

Анализируя таблицу 15, можно сделать вывод, что в рассматриваемом помещении параметры микроклимата соответствуют нормам СанПиН.

Допустимый уровень микроклимата помещения обеспечивается системой водяного центрального отопления и естественной вентиляцией.

В производственных помещениях, где допустимые нормативные величины микроклимата поддерживать не представляется возможным, необходимо проводить мероприятия по защите работников от возможного перегревания и охлаждения. Это достигается различными средствами: применением систем местного кондиционирования воздуха; использованием индивидуальных средств защиты от повышенной или пониженной температуры; регламентацией периодов работы в неблагоприятном микроклимате. и отдыха в помещении с микроклиматом, нормализующим тепловое состояние; сокращением рабочей смены и др.

4.2.3 Освещенность рабочей зоны

Свет является естественным условием жизни человека. Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда. На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Существует три вида освещения: естественное – за счёт солнечного излучения, искусственное – за счёт источников искусственного света и комбинированное –включающее в себя как естественное, так и искусственное освещение.

Помещения с ВДТ и ПЭВМ должны иметь естественное и искусственное освещение. Согласно санитарным нормам естественное освещение должно осуществляться через светопроемы, ориентированные преимущественно на север и северо-восток и обеспечивать коэффициент естественной освещенности (КЕО) не ниже 1.2 % в зонах с устойчивым снежным покровом и не ниже 1.5 % на

остальной территории, а искусственное освещение в помещениях эксплуатации ВДТ и ПЭВМ должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, допускается применение системы комбинированного освещения.

В данном рабочем помещении используется комбинированное освещение. Искусственное освещение создается люминесцентными лампами типа ЛД.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $a = 6000$ мм, ширина $b = 4000$ мм, высота $H = 2800$ мм. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 750$ мм. Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3.

В помещении двенадцать потолочных светильников с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм. Этот светильник имеет две лампы дневного света ЛД-40, мощностью 40 Вт каждая, световой поток равен $\Phi_{ЛД} = 2300$ Лм.

На первом этапе определим значение индекса освещенности i .

$$i = \frac{S}{(a + b)h}, \quad (4.3)$$

где S – площадь помещения;

h – расчетная высота подвеса светильника, м;

a и b – длина и ширина помещения, м.

Высота светильника над рабочей поверхностью h

$$h = H - h_p - h_c = 2800 - 750 - 500 = 1550 \text{ мм}, \quad (4.4)$$

где H – высота помещения, м;

h_p – высота рабочей поверхности, м;

В результате проведенных расчетов, индекс освещенности i равен

$$i = \frac{S}{(a+b)h} = \frac{24000000}{(4000+6000) \cdot 1550} = 1,5.$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 1550 = 1705 \text{ мм}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = \frac{b}{L} = \frac{4}{1,7} \approx 3$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{a}{L} = \frac{6}{1,7} \approx 4$$

Общее число светильников:

$$N = Na \cdot Nb = 4 \cdot 3 = 12$$

Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 24$. Размещаем светильники в три ряда

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены L_1 определяется по формуле:

$$4 \cdot 1227 + 3 \cdot L_1 + \frac{2}{3} L_1 = 6000$$

$$L_1 = 300 \text{ мм}$$

$$\frac{L_1}{3} = 100 \text{ мм}$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены L_2 определяется по формуле:

$$3 \cdot 265 + 2 \cdot L_2 + \frac{2}{3} L_2 = 4000$$

$$L_2 = 1200 \text{ мм}$$

$$\frac{L_2}{3} = 400 \text{ мм}$$

План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами представлен в приложении В.

Световой поток лампы определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_H \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta}, \quad (4.5)$$

где E_H – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95, лк;

S – площадь освещаемого помещения, м²;

K_3 – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т. е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере цеха дыма, пыли;

Z – коэффициент неравномерности освещения, отношение E_{cp} / E_{min} . Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1;

N – число ламп в помещении;

η – коэффициент использования светового потока.

Данное помещение относится к типу помещения со средним выделением пыли, в связи с этим $K_3=1,5$; состояние потолка – свежепобеленный, поэтому значение коэффициента отражения потолка $\rho_n = 70$; состояние стен – побеленные бетонные стены, поэтому значение коэффициента отражения стен $\rho_c = 50$. Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_n = 70 \%$, $\rho_c = 50\%$ и индексе помещения $i = 1,5$ равен $\eta = 0,47$.

Нормируемая минимальная освещенность при использовании ЭВМ и одновременной работе с документами должна быть равна 600лк.

$$\Phi = \frac{E_H \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{600 \cdot 24 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{24 \cdot 0,47} = 2106 \text{ Лм}$$

Для люминесцентных ламп с мощностью 40Вт и напряжением сети 220В, стандартный световой поток ЛД равен 2300 Лм.

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{ЛД} - \Phi_{л.расч}}{\Phi_{ЛД}} \cdot 100\% \leq 20\%$$

$$\frac{2300 - 2106}{2300} \cdot 100\% = 8,43\%$$

$$-10\% \leq 8,43\% \leq 20\%$$

Согласно полученным результатам анализа освещенности помещения, данная система освещения удовлетворяет нормативным требованиям.

4.2.4 Электробезопасность

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В с присутствием агрессивной среды (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (помещения особо опасные).

В отношении опасности поражения людей электрическим током различают:

- Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.
- Помещения с повышенной опасностью, которые характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.
- Особо опасные помещения, которые характеризуются наличием оборудования свыше 1000 В и одного из следующих условий, создающих особую опасность: особой сырости, химически активной или органической среды, одновременно двух или более условий повышенной опасности.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, применяют следующие способы защиты:

- Защитное заземление — это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Сопротивление заземления – основной показатель заземляющего устройства, определяющий его способность выполнять свои функции и определяющий его качество в целом. Сопротивление заземления зависит от площади электрического контакта заземлителя (заземляющих электродов) с грунтом (“стекание” тока) и удельного электрического сопротивления грунта, в котором смонтирован этот заземлитель (“впитывание” тока). Согласно ПЭУ номинальное сопротивление заземления должно быть не более 4 Ом.
- Зануление - Преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.
- Разделительный трансформатор – это трансформатор, первичная обмотка которого электрически не связана со вторичными обмотками с целью исключения опасности, обусловленной возможностью случайного одновременного прикосновения к земле и токоведущим частям или нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в случае повреждения изоляции.

Индивидуальные защитные средства подразделяются на основные и дополнительные. К основным электрозащитным средствам в электроустановках напряжением до 1000 В относятся:

- изолирующие штанги;
- изолирующие и электроизмерительные клещи;
- диэлектрические перчатки; изолированный инструмент.

Работать со штангой разрешается только специально обученному персоналу в присутствии лица, контролирующего действия работающего. При операциях с изолирующей штангой необходимо пользоваться дополнительными изолирующими защитными средствами – диэлектрическими перчатками и изолирующими основаниями (подставками, ковриками) или диэлектрическими ботами.

Изолирующие клещи применяют в электроустановках до 35 кВ для операций под напряжением с плавкими вставками трубчатых предохранителей, а также для надевания и снятия изолирующих колпаков на ножи однополюсных разъединителей. Изолирующие клещи выполняют из пластмассы. При пользовании изолирующими клещами оператор должен надевать диэлектрические перчатки и быть изолированным от пола или грунта.

К дополнительным изолирующим электробезопасным средствам относятся диэлектрические перчатки, боты, резиновые коврики и дорожки, изолирующие подставки на фарфоровых изоляторах и переносные заземления.

Помещение, где была разработана ВКР, принадлежит к категории помещений без повышенной опасности по степени вероятности поражения электрическим током, вследствие этого к оборудованию предъявляются следующие требования:

- экран монитора должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя (расстояния от источника);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов.

Поскольку помещение является сухим и хорошо отапливаемым, средняя температура воздуха от 18 до 20°, влажность составляет от 40 до 50%. Однако, возможность поражения электрическим током все-таки существует, т.к. ЭВМ работает от источника тока. Для исключения опасности поражения электрическим током важно соблюдать правила электрической безопасности:

- Перед включением компьютера в сеть необходимо визуально проверить электропроводку на отсутствие видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие замыкания токопроводящих частей на корпус компьютера;

- При появлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической сети ЭВМ и устранить неисправность;
- Запрещается при включенной ЭВМ одновременно прикасаться к приборам, имеющим естественное заземление.

Освобождение пострадавшего от действия тока напряжением свыше 1000 В может быть произведено только одним способом. Это отключение соответствующей части электрической установки специально обученными людьми. Пострадавшему следует оказать посильную доврачебную помощь.

4.2.5 Электромагнитное поле

ЭМП обладает способностью биологического, специфического и теплового воздействия на организм человека, что может повлечь следующие последствия: биохимические изменения в клетках и тканях; нарушения условно-рефлекторной деятельности, снижение биоэлектрической активности мозга, изменения межнейронных связей, отклонения в эндокринной системе; вследствие перехода ЭМП в тепловую энергию может наблюдаться повышение температуры тела, локальный избирательный нагрев тканей и так далее.

Согласно СанПиН 2.2.2.542-96:

Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг ВДТ по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц-2кГц - 25В/м;
- в диапазоне частот 2кГц/400кГц - 2,5В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц-2кГц - 250нТл;
- в диапазоне частот 2кГц/400кГц - 25нТл.

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

Применение СКЗ:

- защита временем;
- защита расстоянием;

- снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;
- экранирование источника;
- защита рабочего места от излучения;

Применение средств индивидуальной защиты (СИЗ), которые включают в себя:

- Очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.
- Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова (SnO_2).

Экранирование источника излучения и рабочего места осуществляется специальными экранами по ГОСТ 12.4.154.

4.2.6 Электростатическое поле

Электризация заключается в следующем: нейтральные тела, в нормальном состоянии не проявляющие электрических свойств, при условии отрицательных контактов или взаимодействий становятся электростатически заряженными. Опасность возникновения статического электричества проявляется в возможности образования электрической искры и вредном воздействии его на человеческий организм, и не только в случае непосредственного контакта с зарядом, но и за счет действий электрического поля, которое возникает при заряде. При включенном питании компьютера на экране дисплея накапливается статическое электричество. Электрический ток искрового разряда статического электричества мал и не может вызвать поражение человека. Тем не менее, вблизи экрана электризуется пыль и оседает на нем. В результате чего искажается резкость восприятия информации на экране. Кроме того, пыль попадает на лицо работающего и в его дыхательные пути.

Основные способы защиты от статического электричества следующие: заземление оборудования, увлажнение окружающего воздуха. Также целесообразно применение полов из антистатического материала.

4.2.7 Производственный шум и вибрация

Шум – это сочетание звуков различной интенсивности и частоты, которое оказывает раздражающее и вредное действие на организм человека. Под влиянием шума у человека может изменяться кровяное давление, работа желудочно-кишечного тракта, а длительное его действие в ряде случаев приводит к частичной или полной потере слуха. Шум влияет на производительность труда рабочих, ослабляет внимание, вызывает тугоухость и глухоту, раздражает нервную систему, в результате чего снижается восприимчивость к сигналам опасности, что может привести к несчастному случаю.

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума – это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки». Уровень шума на рабочем месте математиков-программистов и операторов видеоматериалов не должен превышать 50дБА, а в залах обработки информации на вычислительных машинах - 65дБА.

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть СКЗ и СИЗ.

Средства коллективной защиты

- устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
- изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;
- применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;

Средства индивидуальной защиты

- применение спецодежды и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

Защита от шумов – заключение вентиляторов в защитный кожух и установление их внутри корпуса ЭВМ. Для снижения уровня шума стены и потолок помещений, где установлены компьютеры, могут быть облицованы звукопоглощающими материалами с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот 63 - 8000 Гц.

Вибрация оборудования на рабочих местах не должна превышать допустимых величин, установленных СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».

4.2.8 Психофизиологические факторы

Значительное умственное напряжение и другие нагрузки приводят к переутомлению функционального состояния центральной нервной системы, нервно-мышечного аппарата рук. Нерациональное расположение элементов рабочего места вызывает необходимость поддержания вынужденной рабочей позы. Длительный дискомфорт вызывает повышенное позвоночное напряжение мышц и обуславливает развитие общего утомления и снижение работоспособности.

При длительной работе за экраном дисплея появляется выраженное напряжение зрительного аппарата с появлением жалоб на

неудовлетворительность работы, головные боли, усталость и болезненное ощущение в глазах, в пояснице, в области шеи, руках.

Режим труда и отдыха работника: при вводе данных, редактировании программ, чтении информации с экрана непрерывная продолжительность работы не должна превышать 4-х часов при 8-часовом рабочем дне. Через каждый час работы необходимо делать, перерыв на 5-10 минут, а через два часа на 15 минут.

С целью снижения или устранения нервно-психологического, зрительного и мышечного напряжения, предупреждение переутомления необходимо проводить комплекс физических упражнений и сеансы психофизической разгрузки и снятия усталости во время регламентируемых перерывов, и после окончания рабочего дня.

4.3 Экологическая безопасность

Функционирование любого производства (промышленного, сельскохозяйственного и т. п.) сопровождается образованием отходов. Они поступают в окружающую среду в виде выбросов в атмосферу, сбросов в водоемы, твердых промышленных и бытовых отходов и мусора на поверхность и в недра Земли. В наше время обеспечение безопасности жизнедеятельности человека неразрывно связано с решением задач по охране природной среды.

Для уменьшения количества выбросов и отходов предприятия внедряют новейшие технологии, электрооборудование, ПЭВМ в процесс эксплуатации, отчистки и утилизации отходов производства. Однако все большее внедрение и применение ПЭВМ приводит к увеличению затрат электроэнергии, количества электростанций и их мощностей. Это может привести к различным экологическим нарушениям: глобальное потепление, загрязнение атмосферы, воды и почвы вредными веществами и т.д.

При написании ВКР негативного воздействия на окружающую среду не оказывалось, т.к. работа проводилась за ПЭВМ. Никаких выбросов и отходов в окружающую среду, чрезвычайных ситуаций при работе с компьютером не было.

В ходе работы были использованы следующие ресурсы:

- бумага;
- оргтехника;

Переработка бумаги

Макулатура – отходы производства, переработки и потребления всех видов бумаги, картона, пригодных для вторичного использования в качестве волокнистого сырья.

Макулатура всех видов проходит несколько этапов обработки, причем их число зависит от качества исходного материала и назначения полученного сырья. Для выпуска низкосортного картона достаточно только первичного роспуска (отделение от целлюлозы грязи, песка, жира) и грубой очистки, а дальнейшая обработка для изготовления качественной бумаги различной фактуры требует полного цикла переработки (вторичный роспуск, тонкая очистка от примесей, химическая и механическая обработка).

Переработка оргтехники

Вся оргтехника включает в свой состав как органические составляющие (пластик различных видов, материалы на основе поливинилхлорида, фенолформальдегида), так и почти полный набор металлов. Благодаря комплексной системе утилизации оргтехники сводятся к минимуму не перерабатываемые отходы, а основные материалы (пластмассы, цветные и черные металлы) и ценные компоненты (редкие металлы, люминофор, ферриты и др.) возвращаются в производство.

Для перехода к безотходным производствам необходимо позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика. Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов.

При выполнении магистерской диссертации никакого ущерба окружающей среде не было нанесено.

4.4 Чрезвычайные ситуации

Чрезвычайная ситуация – это обстановка, сложившаяся на определенной территории или акватории в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Чрезвычайные ситуации делятся на:

- природные
- техногенные
- социальные
- экологические

Возможными чрезвычайными ситуациями могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Томской области характерны низкие среднемесячные температуры в зимние месяцы. Чрезвычайные ситуации, вызванные сильными морозами, могут привести к авариям на теплосетях, электросетях, водоканале, а также возможны перебои в работе транспорта. При работе во время такой природной чрезвычайной ситуации, как сильные морозы, предприятие должно проводить специальные мероприятия, чтобы работники работали в комфортных для себя условиях. Для этого необходимо проводить следующие мероприятия:

- оборудовать все рабочие помещения на предприятии специальными обогревателями;
- предоставить перевозку сотрудников от дома до места работы и обратно;
- хранить в аптечке специальные медицинские препараты, если в случае данной природной ЧС состояние сотрудников ухудшится;
- проведение семинаров, на которых сотрудники будут ознакомлены с тем, как вести себя в случае возникновения сильных морозов;
- установка бензоэлектростанции на предприятии;

- сделать утепление стен с помощью теплоизолирующих материалов.

Для предотвращения несанкционированного проникновения посторонних лиц на предприятие необходимо: оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

4.5 Пожарная безопасность

Пожары представляют особую опасность, так как несут за собой большие материальные потери, а также огромную угрозу здоровью и жизни людей.

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам электрического и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

- халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);
- самовоспламенение и самовозгорание веществ.

Причины возникновения пожара электрического характера:

- короткое замыкание;
- перегрузки по току;
- искрение и электрические дуги;
- статическое электричество и т. п.

Производственные процессы предприятий всех отраслей промышленности делят на пять категорий, которые обозначают первыми буквами русского алфавита (А, Б, В, Г, Д). Рассматриваемое помещение относится к классу В - помещения, в которых находятся (обращаются) горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой,

кислородом воздуха или друг с другом только гореть, т.к. в помещении находились деревянные столы, стулья и бумага.

Существуют следующие виды противопожарной профилактики:

– Строительно-планировочные - определяются огнестойкостью зданий и сооружений (выбор материалов конструкций по степени огнестойкости). В зависимости от степени огнестойкости определяются наибольшие дополнительные расстояния от выходов для эвакуации при пожарах.

– Технические - использование разнообразных защитных систем; соблюдение параметров технологических процессов и режимов работы оборудования;

– Организационные - представляют собой проведение инструктажа персонала по пожарной безопасности, соблюдение мер пожарной безопасности. Для предупреждения возникновения пожара необходимо соблюдать следующие правила пожарной безопасности: правильная эксплуатация оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации, соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, освещения, правильное размещение оборудования, своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования (Приложение Г).

Помещение, где была выполнена выпускная квалификационная работа, снабжено противопожарной защитой (огнетушители порошковые ОП-3), направленной на предотвращение воздействия на людей опасных факторов пожара и ограничения материального ущерба от него.

Порошковый огнетушитель предназначен для применения в бытовых условиях в качестве первичного средства тушения пожаров класса А (твердых веществ), С (горючих газов), В (горючих жидкостей или плавящихся твердых тел) и электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В (в зависимости от

марки применяемого огнетушащего порошка) и имеет следующие характеристики:

- Длина выброса - 3,8 м.
- Габариты - 450*320*300 мм.
- Масса с зарядом - 5 кг

Основы противопожарной защиты предприятий определены в стандартах ГОСТ 12.1.004-76 и ГОСТ 12.1.010-76.

4.6 Выводы и рекомендации

Проанализировав условия труда на рабочем месте, где была разработана выпускная квалификационная работа, можно сделать вывод, что помещение удовлетворяет необходимым нормам и в случае соблюдения техники безопасности и правил пользования ЭВМ работа в данном помещении не приведет к ухудшению здоровья работника.

Само помещение и рабочее место в нем удовлетворяет всем нормативным требованиям. Кроме того, действие вредных и опасных факторов сведено к минимуму, т.е. микроклимат, освещение и электробезопасность соответствуют требованиям, предъявленным в соответствующих нормативных документах.

Относительно рассмотренного вопроса об экологической безопасности можно сказать, что деятельность помещения не представляет опасности окружающей среде.

Важно добавить, что монитор компьютера служит источником ЭМП – вредного фактора, который отрицательно влияет на здоровье работника при продолжительной непрерывной работе и приводит к снижению работоспособности. Поэтому во избежание негативного влияния на здоровье необходимо делать перерывы при работе с ЭВМ и проводить специализированные комплексы упражнений для глаз.

4.7 Законодательная и нормативная база

Для разработки комплекса решений для обеспечения безопасности пользователя рабочего места были использованы следующие нормативно-правовые акты:

- ГОСТ 12.0.003-74 (1999) ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы классификации;
- ГОСТ 12.1.003-83 (1991) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности;
- ГОСТ 12.1.006-84 (1999) ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля;
- ГОСТ 12.1.009-76 (1999) ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения;
- ГОСТ 12.1.019-79 (1996) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;
- ГОСТ 12.1.036-81 (1996) ССБТ. Шум. Допустимые уровни в жилых и общественных зданиях;
- СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки;
- СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение;
- СН-3223-85 Санитарные нормы допустимых уровней шума на рабочих местах.

Заключение

В качестве исходных данных для проверки на постоянство корреляционной зависимости между эмпирическими и смоделированными данными были использованы ежедневные цены закрытия акций (Close): фьючерс на индекс РТС (RTS), обыкновенные акции «Сбербанк» (SBRF), «Газпром» (GAZP) и «Норильский Никель» (GMKR) за период с декабря 2015 по декабрь 2017 года.

С использованием различных подходов была осуществлена проверка статистической гипотезы о постоянстве корреляционной зависимости временных рядов: а) Матричный тест Бокса, б) Тест квадратичной формы для сравнения постоянства корреляционных матриц.

Показано, что значение статистик, указанных тестов лежат в критической области принятия основной гипотезы о равенстве корреляционных матриц.

Разработан программный код для реализации статистического критерия сравнения корреляционных матриц на основе теста квадратичной формы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Arjun K. Gupta, Bruce E. Johnson, Daya K. Nagar (2013) Testing Equality of Several Correlation Matrices. *Revista Colombiana de Estadística* Diciembre 36(2), 237-258.
2. Charles Zaiontz: Box's M Test Basic Concepts [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.real-statistics.com/multivariate-statistics/boxs-test/boxs-test-basic-concepts> – дата доступа: 20 мая 2018.
3. Wied D. (2016) A nonparametric Test for a Constant Correlation Matrix, *Econometric Reviews* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/1210.1412v2> - дата доступа: 20 мая 2018.
4. Elisa Sheng, Daniela Witten, Xiao-Hua Zhou (2016) Hypothesis testing for differentially correlated features. *Biostatistics*, 17(4), 677–691
5. Box G. E. P. (1949) A General Distribution Theory for a Class of Likelihood Criteria. *Biometrika*. 36(3/4), pp. 317-346
6. Steiger J.H. (2003) Comparing Correlations: Pattern Hypothesis Tests Between and/or Within Independent Samples. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.statpower.net/Steiger%20Biblio/Steiger03.PDF – дата доступа: 20 мая 2018.
7. Bun J., Bouchaud J.-P. and Potters M. (2016). Cleaning correlation matrices, *Risk.net*, April 2016.
8. Kinley Larntz and Michael D. Perlman (1985) A Simple Test for the Equality of Correlation Matrices. Technical report No 63.
9. Li D. X. On Default Correlation: A Copula Function Approach (September 1999) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.187289> – дата доступа: 20 мая 2018.
10. Bartlett M. S. (1937) Properties of Sufficiency and Statistical Tests. *Proc. R. Soc. Lond. A* 160, 268-282

11. Niels G. Waller, Jeff Jones: Fungible Coefficients and Monte Carlo Function. Package 'fungible' [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cran.r-project.org/web/packages/fungible/fungible.pdf> - дата доступа:
12. Niels G. Waller, Jeff Jones: The Normal-Theory and Asymptotic Distribution-Free (ADF) Covariance Matrix of Standardized Regression Coefficients: Theoretical Extensions and Finite Sample Behavior [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://users.cla.umn.edu/~nwaller/downloads/techreports/TR052913.pdf> - дата доступа: 20 мая 2018.
13. Mordarres R., Jernigan R.W. (1993) A robust test for comparing correlation matrices. *Journal of Statistical Computation and Simulation*// [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1080/00949659308811501> - дата доступа: 20 мая 2018.
14. Jennrich R. I. (1970) An Asymptotic χ^2 Test for the Equality of Two Correlation Matrices, *Journal of the American Statistical Association*, 65 (330), 904-912.
15. Wim Schoutens, K.U. Leuven: The Meixner Process: Theory and Applications in Finance// [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eurandom.tue.nl/reports/2002/004-report.pdf> – Дата доступа: 20 мая 2018.
16. Smagulov D. and Semenov M. (2017) Portfolio Risk Assessment using Copula Models. International Conference on Applied Research in Economics. HSE. Perm. 21–22 September 2017 (unpublished).
17. Теория вероятностей и математическая статистика для технических университетов. I. Теория вероятностей: учебное пособие / О.Л. Крицкий, А.А. Михальчук, А.Ю. Трифонов, М.Л. Шинкеев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 212 с.
18. Fleishman A.I. (1978) A method for simulating non-normal distributions. *Psychometrika*, 43(4), 521-532.

19. Vale D.C., Maurelli V.A. (1983) Simulating multivariate nonnormal distributions. *Psychometrika*, 48 (3), 465-471.
20. Browne M. (1968) A comparison of factor analytic techniques. *Psychometrika*, 33(3) 267-334.
21. Steiger J.N., Hakstian A.R. (1982) The asymptotic distribution of elements of a correlation matrix: Theory and application. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology* 35(2), 208-215.
22. Барра Ж.-Р. Основные понятия математической статистики – М.: МИР, 1974. – 282 с.
23. Rao C.R. (1973) *Linear Statistical Inference and its Applications*. 2nd ed. NewYork: Wiley – 648 p.
24. Вероятность и математическая статистика: Энциклопедия/ Гл. ред. Ю.В. Прохоров. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1999. – 910с.
25. Панов Е.В. Оценка ковариационной матрицы для временных рядов различных частотностей // Вестник ЮУрГУ, Серия «Математика, физика, химия». – 2008. – выпуск 10. – № 7. – с.19-25.
26. Efron B. (1986). How Biased Is the Apparent Error Rate of a Prediction Rule? *Journal of the American Statistical Association*, 81 (394): 461–470.
27. Janson L., Fithian W., Hastie T. (2017) Effective Degrees of Freedom: A Flawed Metaphor. <https://arxiv.org/pdf/1312.7851.pdf>
28. Jones J.A. & Waller N.G. (2015) The Normal-Theory and Asymptotic Distribution-Free (ADF) Covariance Matrix of Standardized Regression Coefficients: Theoretical Extensions and Finite Sample Behavior. *Psychometrika*, 80(2): 365-378.
29. Newey, W.K. A Simple, Positive Semi-Definite, Heteroskedasticity and Autocorrelation Consistent Covariance Matrix / W.K. Newey, K.D. West // *Econometrica*. –1987. – V. 55(3). – 703–708.

```

# Box's M test for Spearman's correlation matrices equality
# Chi-squared statistic = 2.6163, p-value = 0.9891
#  $M(1-c) \sim \chi^2(df)$ 
dfr<- read.table("C:/Users/Documents/BoxsMTestCor.txt", header = TRUE)
x<- dfr$M_statistic
shapiro.test(x) # проверка на нормальность тест Шапиро-Уилка.
#построение гистограммы
h <- hist(x, xlab = "Statistic", main="CoRrelation Matrix", freq=FALSE)

q05 <- quantile(x, probs = 0.05)
q95 <- quantile(x, probs = 0.95)

pvalue<- ecdf(x)(2.6163)

yposition<- mean(density(x)$y)

abline(v = q05, col = "blue", lwd=2)
text(q05, yposition, "q05", col = "blue", adj = c(-.1, -.1))

abline(v = q95, col = "blue", lwd=2)
text(q95, yposition, "q95", col = "blue", adj = c(-.1, -.1))

abline(v = pvalue, col = "green", lwd=2)
text(pvalue, yposition+.1, "pvalue", col = "green", adj = c(-.1, -.1))

abline(v = 0.05, col = "red", lwd=2)
text(0.05, yposition+.05, "0.05", col = "red", adj = c(-.1, -.1))

```

```

# ADF-test
library(fungible)
rm(list=ls(all=TRUE))

n <- 4
k <- 2 # k-sample test statistic
p <- n # number of variables
n1 <- 100; n2 <- 100

# correlation matrix on empirical data
R1 <- matrix(c(
  1.00, 0.51, 0.44, 0.22,
  0.51, 1.00, 0.36, 0.21,
  0.44, 0.36, 1.00, 0.26,
  0.22, 0.21, 0.26, 1.00), n, n)

# moments of empirical data
skew_vec = c(-0.254, -0.083, 0.443, -0.017); kurt_vec = c(6.133, 4.709, 6.619,
4.276)

my_function<- function(i) {
  X1 <- monte1(seed = i+123, nvar = n, nsub = n1, cormat = R1,
skewvec = skew_vec,
kurtvec = kurt_vec)$data #; X1

  # generate a sample correlation from population 'R1' with n = 10000
  R2 <- corSample(R1, n = 10000)$cor.sample

  rand_vec<- rnorm(n)
  X2 <- monte1(seed = i+321, nvar = n, nsub = n2, cormat = R2,
skewvec = skew_vec + rand_vec,
kurtvec = kurt_vec + rand_vec)$data

  # Create ADF Covariance Matrix of Correlations by Steiger-Hakstian expression
  G1 <- adfCor(X1)
  G2 <- adfCor(X2)
  G <- ((n1 - 1)*G1 + (n2 - 1)*G2)/(n1 + n2 - 2)
  Ginv<- MASS::ginv(G)

```

```

# vectorization operator
delta<- row(R1) - col(R2)
vR1 <- as.vector(t(R1[delta > 0]))
vR2 <- as.vector(t(R2[delta > 0]))
stat <- n1*n2/(n1 + n2) * ((vR1 - vR2) %*% Ginv) %*% (vR1 - vR2)
return(stat)
}

```

```

dist_statistic<- function(N, n, n1, n2, R1){
  Q <- c()
  counter<- 1
  i<- 1
  while (counter <= N) {
    tryCatch({
      Q <- c(Q, my_function(i))
      cat(".")
      counter<- counter + 1
    },
    error = function(e) {
      cat("*")
    },
    finally = {
      if (i %% 20 == 0) cat("\n")
      i<- i + 1
    }
  )}
  cat("\n")
  Results <- list(statistic = Q, iteration = i - 1)
  return(Results)
}

```

```

Q <- dist_statistic(N=1, n, n1, n2, R1)
s <- dist_statistic(N=1000, n, n1, n2, R1)

```

```

Q <- Q$statistic
x <- s$statistic

```

```

plot_graphs<- function(k, p, x, Q){

```

```
# This test has an asymptotic  $\chi^2$  distribution with  $(k - 1)p(p - 1)/2$  degrees of freedom  
# under the null hypothesis.
```

```
alpha = 0.05  
df=(k - 1)*p*(p-1)/2  
left <- qchisq(alpha/2, df=df); left  
# 1.237344  
right<- qchisq(1- alpha/2, df=df); right  
# 14.44938
```

```
par(mfrow=c(1,2))
```

```
data_name<- 'Statistic, Q'
```

```
h <- hist(x, xlab = data_name,# ylim=c(0,1),  
main="Distribution statistic Q", freq=FALSE)
```

```
# Maximum-likelihood Fitting of Univariate Distributions  
df_est <- MASS::fitdistr(x, densfun="chi-squared", start=list(df=df),  
method="BFGS")[[1]][1]
```

```
curve(dchisq(x, df=df), add=TRUE, col="red")  
curve(dchisq(x, df=df_est),add=TRUE, col="green")
```

```
legend("topright",  
legend=c(paste("df=", round(df, 3)), paste("df_est=", round(df_est,3))),  
lty=c(1,1), border = "white",  
col=c("red", "green"))  
grid()
```

```
xfit <- seq(min(x), max(x), length=10)  
yfit <- dchisq(xfit, df=k)  
yfit <- yfit*diff(h$mids[1:2])
```

```
q025 <- quantile(x, probs = alpha/2);q025  
# 0.7726858
```

```
q975 <- quantile(x, probs = 1 - alpha/2);q975  
# 9.462572
```

```

yposition<- mean(density(x)$y)

abline(v = c(q025,q975), col = "blue", lwd=1)
text(c(q025, q975), yposition, c("q025","q975"), pos=c(2,4),
      col = "blue", adj = c(-.1, -.1))

text(c(q025, mean(x), q975), max(density(x)$y)-0.05,
      c("H1","H0","H1"),pos=c(2,1,4),
      col = "black", adj = c(-.1, -.1, -.1))

abline(v = Q, col = "red", lwd=2)
text(Q, yposition+.075, "Q", col = "red", adj = c(-.1, -.1))

xx <- rchisq(1000, df_est)#df=df)
r <- mean(xx);r
quantile(xx, probs = alpha/2)
quantile(xx, probs = 1 - alpha/2)

abline(v = r, col = "green", lwd=2)
text(r, yposition, paste("Q*=",round(r,3)), col = "green", adj = c(-.1, -.1))

pvalue<- ecdf(x)(Q);pvalue

# plot CDF
plot(ecdf(x),
      main = paste("Cumulative Distribution Functions, ", data_name),
      xlim = c(floor(min(x)), ceiling(max(x))),
      xlab = data_name,
      ylab = "Cumulative Frequency",
      pch = NA, lwd= 2,
      col = "red")

lines(ecdf(xx), col="green", pch=NA, lty=1, lwd= 2)

rug(x, col = "red")
rug(xx, side = 3, col = "green")

legend("bottomright",

```

```

    legend=c("Calculated", "Simulated"),
    lty=c(1,1),
col=c("red", "green"))
grid()

points(Q, pvalue)
segments(0,          pvalue, # from
         Q, pvalue) # to
segments(Q, 0,
         Q, pvalue)

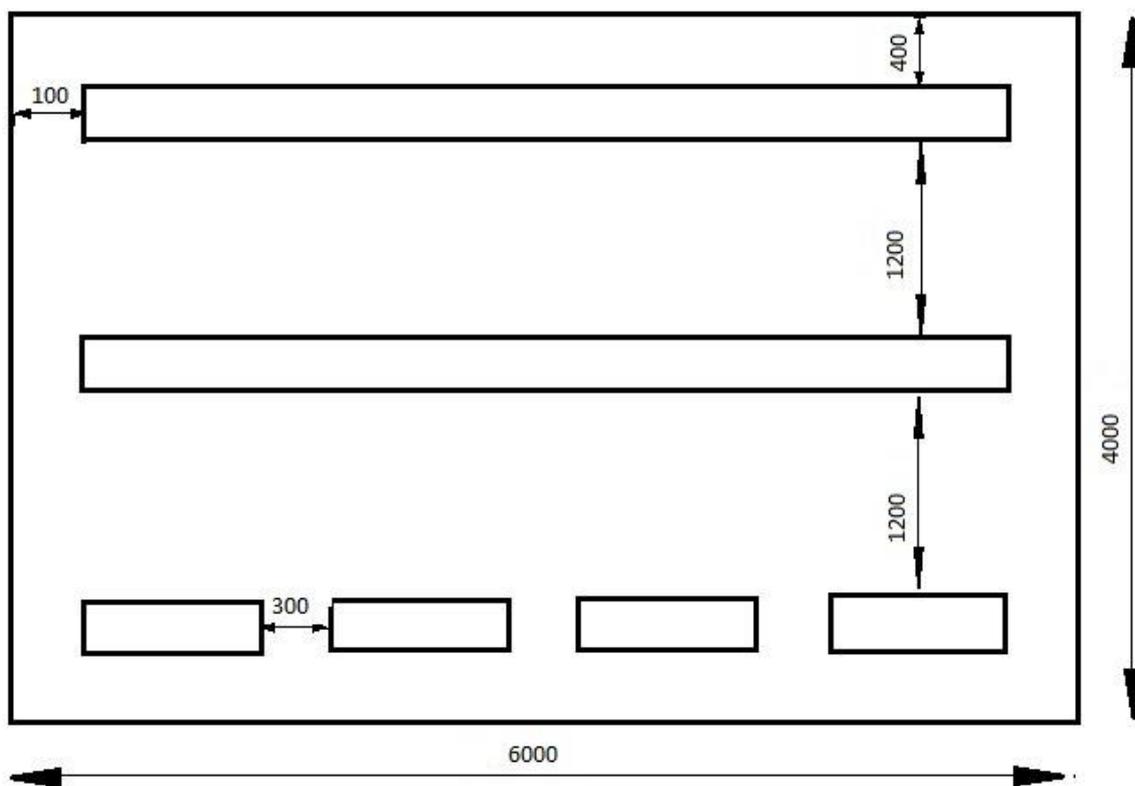
text(x=Q, y=pvalue, paste("(",round(Q,3), ", " ,pvalue,")"), pos=4)
abline(h = c(0.025,0.975), col = "blue", lwd=1)
ks.test(x, xx)[2]

Results <- list(Q = Q, KS = ks.test(x, xx)[1], pvalue = ks.test(x, xx)[2])
return(Results)
}

plot_graphs(k, p, x, Q)

```

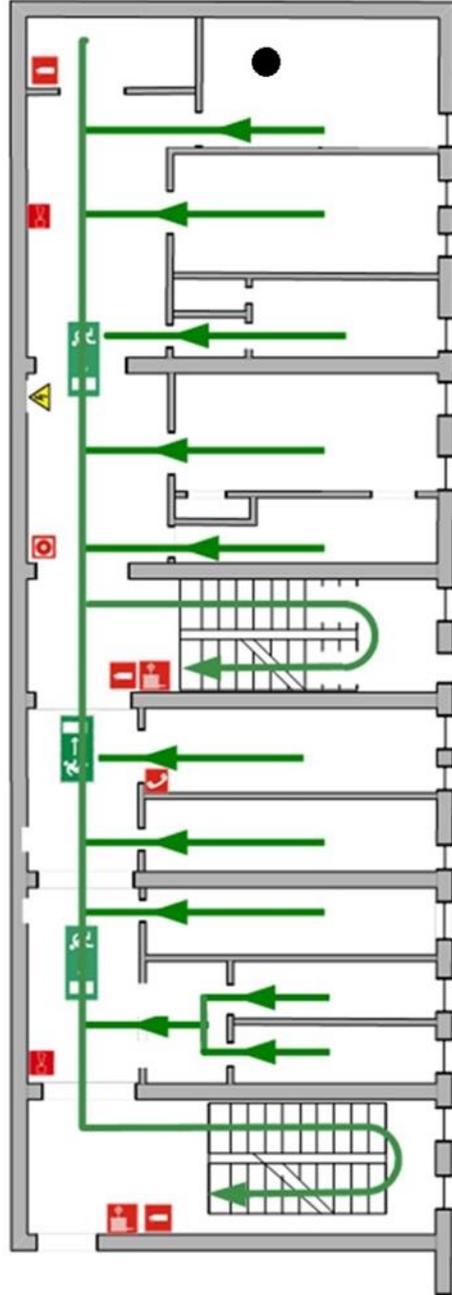
План помещения и размещения светильников
с люминесцентными лампами



План эвакуации в случае пожара

ПЛАН ЭВАКУАЦИИ
2-ГО ЭТАЖА

-  Направление движения
-  Кнопка включения АПС
-  Электрощит
-  Телефон
-  Вы находитесь здесь
-  Пожарный кран
-  Огнетушитель
-  Извещатель



Действия при пожаре Сохранять спокойствие		
1	Сообщить по телефону 	<ul style="list-style-type: none"> • Адрес объекта • Место возникновения пожара • Свою фамилию
2	Эвакуировать людей 	<ul style="list-style-type: none"> • Ориентироваться по знакам направления движения • Взять с собой пострадавших
3	По возможности принять меры по тушению пожара 	<ul style="list-style-type: none"> • Использовать средства противопожарной защиты • При необходимости обесточить помещение

Ответственный за эвакуацию и включение системы оповещения

Testing the statistical hypothesis about the constancy
of the correlation dependence of time series

Section 2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОВМ61	Чередова Полина Владимировна		

Консультант – ОЭФ ИЯТШ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семенов М.Е.	к.ф-м. наук, доцент		

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ ШБИП	Смирнова У.А.			

Content

Abstract	93
Introduction.....	94
1 Box'M test	96
Conclusion	97
References.....	98

Abstract

Graduation thesis 98 p., 5 figures, 15 tables, 29 references, 5 appendices.

Keywords: correlation matrix, statistical hypothesis, modelling.

The object of the study is correlation dependences between the empirical and simulated data.

The aim of this work is verification of the constancy of the correlation between empirical and modeled data without the assumption of normality.

In the process of research the following questions were described:

- the collection and processing of initial data;
- the main properties of coefficient of correlation and correlation matrixes are considered;
- Box’M test was used to compare correlation matrices;
- the test is developed for comparison of constancy of correlation matrixes;
- the calculation of the cost of performing graduate qualification work;
- the resource efficiency of the selected technical task was evaluated.

All the safety requirements were met during the preparation of this work.

As a result of the research, a statistical hypothesis on the equality of correlation matrices for empirical and modelled data was checked without assuming the normality of the initial data.

The degree of implementation: high; the results of this work can be used for all possible time series.

The economic efficiency / significance of the work is middle.

The programming language R was used for calculations.

Introduction

The correlation coefficient is the most widely used measure of dependence between random variables. Correlations among returns are for instance widely used in risk management for financial time series. However, there are many examples that the correlation structure can not be assumed to be constant over time. In particular, in periods of financial crisis, correlations often increase, this phenomenon was called “diversification meltdown”. Since in practice potential change points are not known, practitioners are interested in testing the correlation matrix for financial time series for its constancy. An alternative problem may be the problem of testing the hypothesis that correlation matrices belong to the same distribution. For example, it is required to establish the preservation of the correlation dependence between the generated time series. This means that the correlation matrices belong to the same distribution law.

The work of the Bartlett [7] was one of the first works, which was devoted to the development of statistical criteria for testing the hypothesis of the belonging of matrices to a single distribution. He presented the results of a study of the properties of statistical tests to test this hypothesis in 1937. Box suggested a theoretical justification for using the likelihood criterion to test the constancy of matrices [5]. Later, Jennrich [9] proposed an asymptotic χ^2 -test to verify the equality of two correlation matrices. Modarres and Jernigan [8] proposed statistical criteria for testing the hypothesis of the constancy of correlation matrices without assuming the normality of the distribution of the initial data. Steiger [6] focuses in his work on the statistical criteria, which consider existence or absence of dependence between the initial data. Sheng et al [4] points out the defects of the specified criteria and develops approaches that allow performing statistical testing for matrices, as well as for separate vector columns of correlations matrices. Gupta et al [1] proposed a technique for testing the constancy of several correlation matrices. Wied [3] provides a non-parametric test for testing the constancy of correlation matrices based on econometric data.

There are many different statistical criteria and algorithms for comparing covariance matrices. One of these criteria is Wishart's statistics. It is based on the maximum likelihood method and allows to test the hypothesis of the equality of

covariance matrices. The main assumption of Wishart's statistics is that variables belong to the normal distribution law. Currently there is no function or package in the programming language R for testing the hypothesis of the belonging of matrices to one static distribution without assuming the normality of the initial data.

The aim of research is verification of the constancy of the correlation between empirical and modeled data without the assumption of normality.

To achieve this aim, the following tasks were formulated and solved:

- to formulate the main and alternative hypotheses, to find critically the fields of acceptance of these hypotheses;
- to use statistics of Box'M test to compare correlation matrices;
- to develop a program for the implementation of the statistical criterion for comparing correlation matrices based on a square form.

1. Box's M Test

The possibility of applying the statistics $M(1-c)$ of the Box'M test to compare the correlation matrices will be considered in this work. Box's test is used to determine whether two or more covariance matrices are equal [2]. Suppose that we have m independent populations and we want to test the null hypothesis that the population covariance matrices are all equal:

$$H_0 : \Sigma_1 = \Sigma_2 = \dots = \Sigma_m$$

Let S_1, S_2, \dots, S_m are sample covariance matrices from the m populations where each S_j is based on n_j independent observations each consisting of $k \times 1$ column vector (or a $1 \times k$ row vector).

Now define S as the pooled covariance matrix:

$$S = \frac{1}{n-m} \sum_{j=1}^m (n_j - 1) S_j,$$

where $n = \sum_{j=1}^m n_j$.

Knowing S and n , we define the statistics $M(1-c)$ by the formulas, respectively:

$$M = (n-m) \ln |S| - \sum_{j=1}^m (n_j - 1) \ln |S_j|,$$

$$c = \frac{2k^2 + 3k - 1}{6(k+1)(m-1)} \left(\sum_{j=1}^m \frac{1}{n_j - 1} - \frac{1}{n-m} \right)$$

From the theory, it is known [2] that the statistics $M(1-c)$ has a $\chi^2(df)$ distribution with df degrees of freedom under the null hypothesis.

$$M(1-c) \sim \chi^2(df), \quad df = \frac{k(k+1)(m-1)}{2}.$$

The null hypothesis (of equal covariance matrices) is rejected when

$$M(1-c) > \mathcal{X}_{\text{crit}}^2 \text{ (or } p\text{-value} < \alpha).$$

Observation: If any of the S_j is not invertible then $|S_j| = 0$, and so $\ln |S_j|$ will be undefined. Thus M will be undefined and the test will fail.

Conclusion

Daily closing prices of shares (Close) were used as the initial data for check on constancy of correlation dependence between the empirical and simulated data: futures on the RTS (RTS) index, ordinary shares of “Sberbank” (SBRF), “Gazprom” (GAZP) and “Norilsk Nickel”(GMKR) for the period from December 2015 to December 2017.

Testing of statistical hypothesis on the constancy of the correlation dependence of time series was made by different approaches: a) Box’M test, b) A quadratic form test for comparing the constancy of correlation matrices.

It is shown that value of statistics of these tests lies in the critical area of the null hypothesis about the equality of correlation matrices.

A program code to implement a statistical criterion for comparing correlation matrices based on a quadratic form test is developed.

References

1. Arjun K. Gupta, Bruce E. Johnson, Daya K. Nagar (2013) Testing Equality of Several Correlation Matrices. *Revista Colombiana de Estadística* Diciembre 36(2), p. 237-258.
2. Charles Zaiontz: Box's M Test Basic Concepts [Electronic source]. – Available at: <http://www.real-statistics.com/multivariate-statistics/boxs-test/boxs-test-basic-concepts> – date: 20 may 2018.
3. Wied D. (2016) A nonparametric Test for a Constant Correlation Matrix, *Econometric Reviews* [Electronic source]. – available at: <https://arxiv.org/abs/1210.1412v2> - date: 20 may 2018.
4. Elisa Sheng, Daniela Witten, Xiao-Hua Zhou (2016) Hypothesis testing for differentially correlated features. *Biostatistics*, 17(4), 677–691
5. Box G. E. P. (1949) A General Distribution Theory for a Class of Likelihood Criteria. *Biometrika*. 36(3/4), pp. 317-346
6. Steiger J.H. (2003) Comparing Correlations: Pattern Hypothesis Tests Between and/or Within Independent Samples. [Electronic source]. – Available at: www.statpower.net/Steiger%20Biblio/Steiger03.PDF – date: 20 may 2018.
7. Bartlett M. S. (1937) Properties of Sufficiency and Statistical Tests. *Proc. R. Soc. Lond. A* 160, 268-282
8. Mordarres R., Jernigan R.W. (1993) A robust test for comparing correlation matrices. *Journal of Statistical Computation and Simulation*// [Electronic source]. – Available at : <http://dx.doi.org/10.1080/00949659308811501> - date: 20 may 2018.
9. Jennrich R. I. (1970) An Asymptotic χ^2 Test for the Equality of Two Correlation Matrices, *Journal of the American Statistical Association*, 65 (330), 904-912.