

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ РФ

Московский авиационный институт  
(НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

---

КАФЕДРА №804

Пояснительная записка  
к дипломному проекту на тему:

**АДАПТАЦИЯ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ  
НА ОСНОВАНИИ ИНФОРМАЦИИ О ВРЕМЕНИ ОТВЕТА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ**

Студент \_\_\_\_\_ Джумурат А.

Научный руководитель  
аспирант каф. 804 \_\_\_\_\_ Иноземцев А.

Рецензент  
д.ф.-м.н., \_\_\_\_\_ Наумов С.В.

Зав. кафедрой №804  
д.ф-м.н, профессор \_\_\_\_\_ Кибзун А.И.

Москва 2013

# Реферат

Дипломная работа содержит 67 страниц, 7 рисунков, 17 таблиц. Список использованных источников содержит 38 позиций.

АДАПТИВНОЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ, ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ, МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРЕМЕНИ ОТВЕТА, СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ, КОМПРОМЕНТАЦИЯ ЗАДАЧ, ОГРАНИЧЕННЫЕ ПО ВРЕМЕНИ ТЕСТЫ.

Дипломная работа посвящена проблеме адаптации системы дистанционного обучения на основании информации о времени ответа пользователя на задачи. Используется логнормальная модель времени ответа.

Введение раскрывает актуальность, определяет степень разработки темы, объект, предмет, цель и задачи исследования, раскрывает теоретическую и практическую значимость работы.

В Главе 1 рассматриваются теоретические положения и аспекты предмета исследования, а так же их практическое применение. Описаны исторические предпосылки создания стохастических моделей времени ответа. Предлагается математическая модель и аналитические оценки параметров модели. Производится проверка соответствия теоретической модели и реальных данных СДО МАИ CLASS.NET. Приводится решение двух практических задач: выявление случаев «нечестного» прохождения теста (когда студент пользуется заранее подготовленными ответами на одну или несколько задач теста) и задача формирования индивидуального задания требуемой сложности в условиях ограниченного по времени теста.

Глава 2 дипломной работы содержит раздел «Безопасность труда и охрана окружающей среды». В данной главе происходит анализ параметров помещения, предназначенного для работы с системой дистанционного обучения (компьютерный класс). Описаны негативные факторы, которые могут влиять на работу студентов, а так же указаны пути их устранения.

Глава 3 представляет собой экономический раздел. Произведён расчёт себестоимости реализации дипломной работы. Вычислена инвестиционная эффективность проекта и приведён срок его окупаемости для заказчика.

В Заключение формулируются итоги проведённого исследования и выводы по результатам выполненной дипломной работы.

# Содержание

<b>1. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ</b>	<b>4</b>
1.1 Введение в основную часть . . . . .	5
1.1.1 Актуальность дипломной работы . . . . .	5
1.1.2 Цели и задачи . . . . .	6
1.1.3 Практическая значимость . . . . .	7
1.2 Аналитический обзор . . . . .	7
1.2.1 Обзор объекта исследования . . . . .	7
1.2.2 Предмет дипломной работы . . . . .	11
1.3 Обоснование выбранного направления . . . . .	12
1.3.1 Математические модели времени ответа . . . . .	12
1.3.2 Двухуровневая модель van der Linden'a . . . . .	14
1.4 Методика исследования . . . . .	19
1.4.1 Использование информации о фактическом времени ответа	19
1.4.2 Обработка экспериментальных данных . . . . .	20
1.5 Содержание выполненной работы . . . . .	28
1.6 Задача конструирования ограниченных по времени тестов . . .	29
1.7 Результаты . . . . .	31
<b>2. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ</b>	<b>32</b>
2.1 Введение в экономический раздел . . . . .	33
2.2 Сетевой график . . . . .	33
2.2.1 Таблица этапов работ . . . . .	33
2.2.2 Построение сетевой модели . . . . .	35
2.2.3 Анализ сетевой модели. . . . .	35
2.3 Расчет затрат . . . . .	37
2.3.1 Материальные . . . . .	37
2.3.2 Заработная плата . . . . .	38

2.3.3	Расходы на амортизацию оборудования . . . . .	38
2.4	Социальные отчисления . . . . .	39
2.5	Прочие расходы . . . . .	40
2.5.1	Транспортные расходы . . . . .	40
2.5.2	Связь . . . . .	41
2.5.3	Интернет . . . . .	41
2.5.4	Электроэнергия . . . . .	41
2.6	Расчет экономической эффективности . . . . .	42
2.6.1	Расчёт цены на продукт . . . . .	42
2.7	Экономический эффект . . . . .	42
2.7.1	Экономическая эффективность . . . . .	43
2.8	Вывод . . . . .	44
<b>3.</b>	<b>ОХРАНА ТРУДА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ</b>	<b>44</b>
3.1	Введение в часть охраны труда и окружающей среды . . . . .	45
3.1.1	Необходимость защиты труда в объекте дипломной работы	45
3.1.2	Характеристики рабочего помещения . . . . .	45
3.1.3	Характеристики оборудования . . . . .	46
3.2	Анализ условий труда . . . . .	46
3.2.1	Санитарно-гигиенические факторы . . . . .	46
3.2.2	Эргономика рабочего места . . . . .	53
3.2.3	Психофизиологические факторы . . . . .	54
3.3	Расчёт . . . . .	56
3.4	Вывод . . . . .	58
	<b>Заключение</b>	<b>59</b>
	<b>Список использованных источников</b>	<b>60</b>

# 1. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

## 1.1. Введение в основную часть

### 1.1.1. Актуальность дипломной работы

В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений развития в области образования является создание систем и методов дистанционного обучения. Системы дистанционного обучения (СДО) позволяют решить проблему доступного образования: дистанционная модель (без присутствия в образовательном учреждении) обеспечивает доступ к знаниям независимо места жительства и физических возможностей обучающегося. Сервисы дистанционного образования предоставляют как традиционные институты (в России МГУ [1], МИЛ [2], МЭСИ [3], за рубежом - MIT, Harvard, Stanford [4]), так и полностью виртуальные площадки в сети Интернет (Coursera [5], Universarium [6] и т.д.).

В связи с развитием сервисов дистанционного обучения возникает необходимость в разработке математического и программного обеспечения для этих сервисов. Задачи, которые в возникают в данной области, а так же методы и пути их решения, получили название «адаптивное компьютерное тестирование» (Computer Adaptive Testing, CAT). Основной вопрос, на который отвечают алгоритмы адаптивного компьютерного тестирования - как из пула задач подобрать задачу (или набор задач), которая максимально будет подходить для конкретного студента, т.е. СДО должна учитывать индивидуальные способности каждого обучающегося [7]. Такой подход к формированию индивидуального задания позволяет улучшить восприятие материала и способствует построению более эффективного процесса обучения.

Задача анализа времени ответа студента при ответе на задачи теста является одним из приоритетных направлений области дистанционного обучения и адаптивных систем тестирования.

Время, которое студент затрачивает для ответа на задачу, является основным источником информации при ответе на следующие вопросы:

- не обладает ли студент ответами на некоторые (или все) задачи дистанционного теста
- достаточно ли отпущено времени для прохождения теста

- удачно ли сформулированы задачи теста (или понимание условия задачи вызывает затруднения)

На эти и некоторые другие вопросы помогает ответить стохастическая модель времени ответа в системах дистанционного обучения. Описанию такой модели и прикладных задач, которые решаются с её применением, посвящена данная дипломная работа.

*Объектом исследования* дипломной работы является поведение обучающихся при ответах на задания в системах дистанционного обучения.

*Предметом исследования* дипломной работы является время, в течение которого студент отвечает на задачи, предлагаемые системой дистанционного обучения.

### 1.1.2. Цели и задачи

Целью дипломной работы является адаптация системы дистанционного обучения на основании информации о времени, которое обучающийся затрачивает для ответа на задания теста

Основные задачи, которые необходимо решить для достижения поставленной цели:

- ознакомление с теоретическим аспектом объекта исследования: поиск и чтение специализированной литературы
- построение математической модели, описывающей предмет исследования
- выбор методов оценки параметров построенных моделей
- получение экспериментальных данных
- обработка данных моделирования эксперимента для оценки параметров математической модели
- разработка алгоритма поиска отклонений в новых данных, поступающих в систему дистанционного обучения, с помощью построенной математической модели для
- описание и формализация задачи конструирования ограниченных по времени тестов заданной сложности.

Сформулированные задачи отражают процесс достижения поставленной цели дипломной работы.

### **1.1.3. Практическая значимость**

Дипломная работа имеет важное практическое приложение в качестве математического обеспечения для СДО МАИ CLASS.NET. Разработанные в работе методы и алгоритмы будут применяться для обеспечения учебного процесса пользователей данной системы.

В настоящее время созданию и развитию математического аппарата для СДО CLASS.NET посвящены работы [8–10]. Дипломная работа развивает идеи, предложенные в этих статьях, а так же предлагаются пути решения и формулировки для новых прикладных задач.

## **1.2. Аналитический обзор**

### **1.2.1. Обзор объекта исследования**

Теоретические исследования в области построения математических моделей процесса выполнения заданий играют огромную роль в современных системах компьютерного обучения. Одним из вопросов, которые исследуются в данной области, является взаимосвязь между временем ответа студента и корректностью ответа.

Наиболее ранние работы в данной области принадлежат Вудбори (Woodbury, 1951 [11], 1963 [12]), который использовал стохастические модели для количества правильных ответов, предоставленных студентом в течение теста. Позднее эти идеи были развиты в работах Лорда и Новика (Lord, Novick, 1968 [13]).

В этот период так же возникла идея о том, что оценка студента не должна складываться только из количества правильных ответов, предоставленных в течение теста - необходимо учитывать и время, которое студент затрачивает на решение задачи. Эти вопросы поднял в своих работах Галексен (Gulliksen, 1950 [14]). Он предложил использовать два вида тестов - тесты на скорость (speed tests) и тесты на сложность задач (power tests). При прохождении теста на скорость студенту предлагалось за ограниченное время решить макси-



мально возможное количество задач самого низкого уровня сложности - таким образом Галексен пытался оценить скорость, с которой студенты принимают решения (при таком подходе на скорость ответов не должна влиять сложность задачи). Тесты второго вида состояли из задач разного уровня сложности, время на решение которых было неограничено - по результатам этого теста можно было оценить, задачи какого уровня сложности может решить студент, т.е. оценить именно уровень знаний, без привязки к скорости, с которой обучающийся решает задачи.

Подход Галексена обладает двумя основными недостатками: во-первых, даже в тестах на скорость может случиться так, что на какую-то из задач студент даст неверный ответ (это маловероятно для студентов с высоким уровнем знаний, но вполне может произойти с менее способными студентами). Как в данном случае оценить скорость студента с помощью времени ответа, как учесть время, за которое студент дал неверный ответ и нужно его учитывать вообще? Во-вторых, здравый смысл подсказывает, что время нужно учитывать так же и в тестах на сложность задач - ведь если два студента решают все предложенные задачи, но один из них при этом затрачивает меньшее количество времени - очевидно, что «быстрый» студент заслуживает более высокую оценку.

Одним из первых исследователей, который пытался решить данные задачи, был Терстоун (Thurstone, 1937 [15]). Он обратил своё внимание на вопрос взаимосвязи между скоростью, с которой студент решает задачи теста, и уровнем знаний студента. Терстоун представил графическую модель такой взаимосвязи, которую назвал «кривой ответа» (response surface). Для каждого конкретного студента и одной задачи теста кривая ответа представляет собой график зависимости вероятности правильного ответа от сложности задачи и времени, которое было затрачено на ответ.

Пример кривой ответа показан на рисунке 1.1:

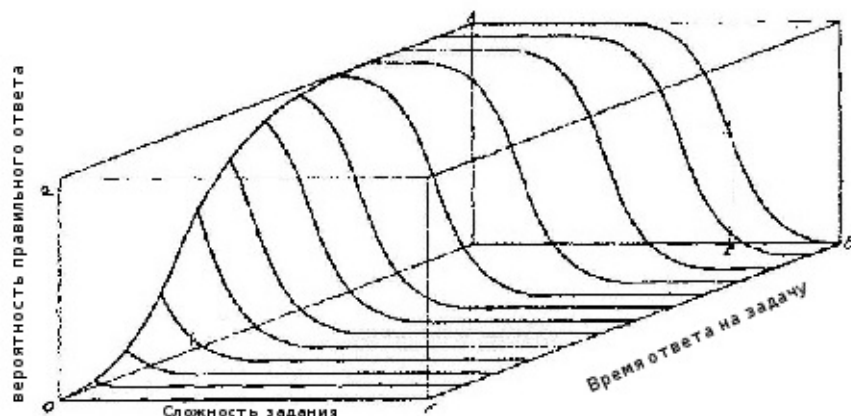


Рис. 1.1. Кривая ответа

График отражает зависимость между вероятностью правильного ответа и затраченным временем только для одного студента, т.е. не отражает распределение вероятности для группы студентов. Основной принцип, который Терстоун использовал при построении этой диаграммы: вероятность того, что студент даст правильный ответ на задачу растёт с увеличением времени, которое затрачено на решение задачи. При этом вероятность правильного ответа уменьшается с увеличением сложности задачи. Терстоун ввёл понятия скорости студента и способностей студента. Скорость студентов Терстоун определил как число задач, которые студент решает в единицу времени; способностью студента исследователь назвал сложность задач, на которые студент отвечает с вероятностью  $P = 0.5$  при условии, что время ответа студента не ограничивается.

Несмотря на достоинства, в модели Терстоуна есть так же и некоторые неочевидные недостатки. Во-первых, для ответов студента используется стохастическая модель, а время ответа считается детерминированным. Очевидно, что и ответы студента, и время, которое студент затрачивает на ответ, являются следствиями одних и тех же когнитивных процессов - поэтому логично использовать вероятностную модель так же и для времени ответа студента. Таким образом, кривая ответа должна представлять собой закон совместного распределения времени ответа и корректности ответов студента. Во-вторых, модель Терстоуна принимает в качестве параметров вероятностной модели

ответа параметры задачи (сложность) и параметры студента (способность), при этом игнорируется время, в течение которого студент отвечал на задание. В-третьих, кривая ответа предполагает зависимость вероятности правильного ответа от времени ответа, в то время как логично предположить, что между этими величинами существует условная независимость, т.е. ответ на задачу и время ответа на любую задачу теста не должны зависеть от ответов на другие задачи для каждого студента.

Некоторые эвристические модели для учёта времени ответа обучающихся во время тестирования были описаны в статье Байса и Ма (Steven L. Wise and Lingling Ma, 2012 [16]). Стохастические модели, которые включают время ответа студента, получили развитие в работах Гавирии (Gaviria, 2005 [17]), который разработал логнормальную модель времени ответа. Большое количество работ посвящено поведению студентов во время теста и исследованию стратегий, которые обучающиеся используют при ответе на задачи теста - например, работы Байса и Конга (Wise and Kong, 2005 [18]). Американские исследователи Ванг и Хансон (Wang and Hanson, 2001 [19]) рассмотрели модель, включающую время ответа в качестве параметра, и разработали алгоритм, позволяющий в режиме реального времени конструировать вариант из пула задач с учётом индивидуальных особенностей студента.

Таким образом, при изучении вопросов обучения студентов исторически возникли следующие задачи:

- оценить способность каждого студента
- оценить скорость, с которой конкретный студент может решить предложенную задачу теста
- оценить время, которое может потребоваться студенту для полного прохождения теста
- сформировать список задач, который будет оптимальным для конкретного студента, исходя из его способностей

и другие.

Дипломная работа посвящена построению математической модели времени ответа студента и двум практическим применениям этой модели: задаче выявления отклонений в поведении студента на основании поступающей в

систему дистанционного обучения информации о времени ответа студента на задачи теста для определения задач, к которым у студента заранее были ответы и задачи формирования индивидуального задания заданной сложности для ограниченных по времени тестов.

### 1.2.2. Предмет дипломной работы

Предметом дипломной работы является время, которое студент затрачивает при ответе на вопросы теста. Очевидно, что время ответа играет важную роль при оценке уровня способностей студента и формирования индивидуальных заданий в системе дистанционного обучения: например, два студента с одинаковым уровнем подготовки могут отвечать на вопросы теста с разной скоростью - это значит, что при одинаковых ограничениях на общее время на теста более «медленный» студент не успеет ответить на все задачи.

В связи с этим возникает необходимость в моделировании времени ответа студента. Информация о времени, которое ожидается при ответе обучающегося на данную задачу, может использоваться системой дистанционного обучения для различных целей: например, для адаптации индивидуального задания согласно возможностям конкретного студента. Математическая модель времени ответа студента на задачи позволяет ответить на следующие вопросы:

- уложится студент во время, отведённое на тест для конкретного набора задач
- не пытается ли студент во время теста угадать ответ вместо того, чтобы решать задачу
- не пользуется ли студент готовыми решениями, полученными ранее
- понять стратегию, которую студент использует во время ответов на задачи
- как сконструировать индивидуальное задание для онлайн форм контроля, при выполнении которого студент уложится в заранее заданный временной интервал

Для решения этих задач существует множество теоретических моделей, которые рассматриваются далее, в разделе 1.3.

## 1.3. Обоснование выбранного направления

### 1.3.1. Математические модели времени ответа

Практика построения математических моделей, включающих время ответа, состоит из двух основных подходов. Первый подход - когда время ответа и распределение вероятности правильного ответа студента используются в одном и том же уравнении (в качестве параметров), второй подход - когда используются разные уравнения. Приведём примеры для каждого из подходов (подробнее см. [20]).

Во всех моделях, описанных далее, используются следующие обозначения:

$j$	— номер студента из группы
$i$	— номер задачи из пула задач
$t_{ij}$	— время ответа студента $j$ на задачу $i$
$\theta_j$	— способность студента $j$
$a_i$	— параметр дискриминации (коэффициент корреляции между оценкой за тест и за задачу $i$ )
$c_i \in [0; 1]$	— вероятность угадать ответ на задачу $i$
$b_i$	— сложность задачи $i$
$u_{ij}$	— случайная величина такая, что $u_{ij} = 1$ , если студент $j$ ответил на задачу $i$ верно и $u_{ij} = 0$ если ответ неверный

#### 1.3.1.1. Модель корректности ответа, включающая время ответа

Над моделью ответа, которая включает в себя время ответа в качестве параметра, работал Роскам (Roskam, 1987 [21]). Эта модель является двупараметрической логистической моделью (2PL, two-parameter logistic):

$$p_i(\theta_j) = \{1 + \exp(-(\theta_j + \ln t_{ij} - b_j))\}^{-1} \quad (1.1)$$

В этой модели  $p_i(\theta_j)$  - вероятность правильного ответа студента  $j$  на задачу  $i$ . Модель отвечает идеям Терстоуна: для того, чтобы убедиться в этом, рассмотрим разность  $(\ln t_{ij} - b_j)$ . Увеличение сложности задачи всегда может быть компенсировано более длительным временем, затраченным на её реше-

ние.

### 1.3.1.2. Модель времени ответа, включающая корректность ответа

Модель такого типа разрабатывал, например, Гавирия (Gaviria, 2005 [17]):

$$\ln \left( \frac{t_{ij} - T_0}{A} \right) = -a_i(\theta_j - b_j) + \varepsilon_{ij}, \quad \varepsilon_{ij} \sim LN(0, \sigma_i^2), \quad (1.2)$$

где

$A$  — параметр масштаба времени ответа

$T_0$  — параметр сдвига времени ответа

$\varepsilon_{ij}$  — случайная ошибка, имеет логнормальное распределение

Таким образом, в модели Гавирии время ответа студента имеет логнормальное распределение со средним  $-a_i(\theta_j - b_j)$  и дисперсией  $\sigma_i^2$ , которая одинакова для всех обучающихся и зависит только от задачи.

### 1.3.1.3. Отдельные модели времени ответа и корректности ответа

К таким моделям относится одна из самых ранних моделей в данной области - модель процесса чтения. Эту модель разработал Раш (Rasch, 1960 [22]). Модель включает в себя две модели более низкого уровня - модель ошибок в чтении и модель скорости чтения. Модель ошибок описывается следующим образом: число ошибок чтения  $a$  в тексте длиной  $N$  слов имеет пуассоновское распределение, функция вероятности имеет вид

$$P(a|N) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^a}{a!}, \quad (1.3)$$

где  $\lambda = N\theta$  - среднее число ошибок. Раш рассматривал коэффициент  $\theta$  как отношение

$$\theta = \frac{\delta_i}{\xi_j}, \quad (1.4)$$

где  $\delta_i$  - сложность текста и  $1/\xi_j$  - способность студента  $j$ .

Время, за которое текст будет прочитан студентом, при этом имеет гамма-

распределение с функцией плотности вероятности

$$\rho(t|N) = \lambda e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^{N-1}}{(N-1)!}, \quad (1.5)$$

где  $\lambda$  - параметр интенсивности потока, который соответствует скорости чтения студента.

Таким образом, обе модели представляют собой пуассоновские потоки разной природы - один поток для ошибок при чтении и второй поток для скорости чтения.

В дипломной работе приводятся принципы построения более сложной модели - двухуровневой модели Ван дер Линдена (van der Linden, [20, 23, 24]).

### 1.3.2. Двухуровневая модель van der Linden'a

При разработке двухуровневой модели оценки работы студента в системе дистанционного обучения использованы следующие предположения (см. [20]).

#### 1.3.2.1. Базовые предположения

##### **Случайное время ответа**

Исследования в области психологии доказывают, что время, в течении которого объект исследования реагирует на внешние раздражители, может быть случайным. Логично предположить, что время ответа студента в системах дистанционного обучения так же являются случайной величиной. Основное предположение Теории ответов (ТО, Item Response Theory, IRT) состоит в том, что корректность ответа студента является случайной величиной

*Предположение 1:* время ответа студента  $t_{ij}$  является реализацией случайной величины  $T_{ij}$

##### **Корректность ответов пользователя**

Для описания процесса обучения необходимо ввести ещё одну случайную величину - корректность ответа пользователя

$$U_{ij} = \begin{cases} 1 & , \text{ студент } j \text{ ответил на задачу } i \text{ корректно} \\ 0 & , \text{ студент } j \text{ ответил на задачу } i \text{ некорректно} \end{cases}$$

*Предположение 2:* корректность ответа студента  $u_{ij}$  является реализацией случайной величины  $U_{ij}$

### Скорость и время ответа

Время, которое студент затрачивает при ответе на задачи теста и скорость, с которой студент выполняет задания - неэквивалентные понятия. Одно из основных предположений в Теории ответов - время ответа студента на задачу может меняться в зависимости от параметров задачи, в то время как скорость студента остаётся неизменной. Исходя из этого предположения, можно записать *основное уравнение Теории ответов*:

$$\tau_j^* = \frac{\beta_i^*}{t_{ij}}, \quad (1.6)$$

где  $\beta_i^*$  - трудозатраты, которые требуются от студента для решения задачи  $i$  и  $\tau_j^*$  - скорость студента.

Для того, чтобы распределение времени ответа имело более симметричный вид, к этому выражению обычно применяется логарифмическое преобразование, тогда выражение принимает вид

$$\ln t_{ij} = \beta_i - \tau_j, \quad (1.7)$$

где  $\beta_i = \ln \beta_i^*$  и  $\tau_j = \ln \tau_j^*$  - параметры в логарифмическом масштабе.

*Предположение 3*: время ответа на задания и скорость ответа студента на задание являются величинами разной природы, однако их связывает основное уравнение Теории ответов.

#### 1.3.2.2. Описание модели

На основании сделанных выше предположений ван дер Линден предложил использовать для моделирования процесса обучения студента двухуровневую иерархическую модель [20].



Модель имеет вид, представленный на рисунке (1.2):

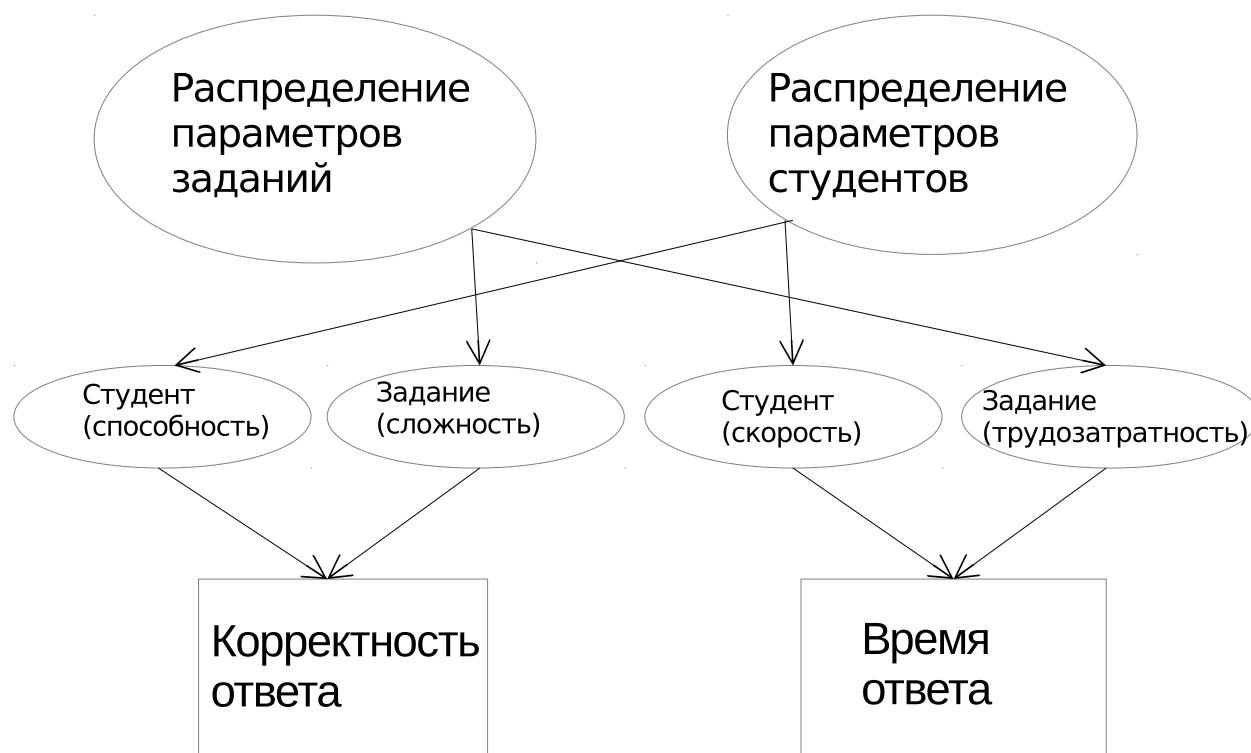


Рис. 1.2. Двухуровневая иерархическая модель

Как видно, модель имеет два уровня. На первом уровне расположены вероятностные модели для корректности ответа студента и времени ответа студента. На втором уровне вероятностная модель распределения параметров моделей первого уровня - способность студента и его скорость для студентов всех групп и вероятностная модель распределения параметров сложности и трудозатрат для каждой задачи из пула. Рассмотрим эти модели более подробно.

В соответствии с идеями, описанными во введении к дипломной работе, время ответа и сам ответ студента (корректный или нет) являются независимыми случайными величинами. Предполагается, что параметры распределений так же представляют собой реализации попарно независимых случайных величин с известными законами распределения. Исходя из сделанных предположений, запишем законы распределения параметров модели и сами модели.

Параметры для группы студентов распределены по нормальному закону

$$(\theta, \tau)^T \sim N(\mu, \sigma), \quad (1.8)$$

где  $K$  - количество задач в пуле,  $M$  - число студентов в группе.  $(\theta, \tau)$  - двумерный вектор параметров модели, который состоит из способностей студентов и времени, с которым студенты отвечают на задания. Вектор имеет 2-мерное нормальное распределение с вектором математического ожидания  $\mu = (\mu_\theta, \mu_\tau)^T$  и ковариационной матрицей  $\sigma$  размерности  $2 \times 2$ , которая в силу независимости способностей студента и времени ответа имеет блочно-диагональную структуру:

$$\sigma = \begin{pmatrix} \sigma_\theta & 0 \\ 0 & \sigma_\tau \end{pmatrix}_{2 \times 2}.$$

Для задачи под номером  $i = 1, \dots, K$  из общего пула задач размеров  $K$  ведём случайный вектор  $\xi_i$  такой, что  $\xi_i = (a_i, b_i, c_i, \alpha_i, \beta_i)$  - параметры задачи. Тогда  $\forall i$  распределение вектора  $\xi$  подчиняется (5)-мерному нормальному закону:

$$\xi \sim N(\mu_\xi, \Sigma_\xi), i = 1, \dots, K \quad (1.9)$$

где  $\mu_\xi = (\mu_a, \mu_b, \mu_c, \mu_\alpha, \mu_\beta)^T$  - вектор математического ожидания и  $\Sigma_\xi$  - ковариационная матрица для вектора  $\xi$ . Независимость при распределении параметров задачи не предполагается.

Для модели корректности ответа используется трёхпараметрическая логистическая модель

$$p_i(\theta_j) = c_i - (1 - c_i)\psi[a_i(\theta_j - b_i)]; i = 1, \dots, K; j = 1, \dots, M \quad (1.10)$$

где  $\psi(*)$  - логистическая функция. Логистическая функция имеет вид

$$\psi(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

Время ответа студента имеет логнормальное распределение:

$$\ln T_{ij} = \mu + \beta_i + \tau_j + \varepsilon_{ij}, \quad \varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{ij}^2); i = 1, \dots, K; j = 1, \dots, M. \quad (1.11)$$

Соответственно, плотность распределения времени ответа имеет следующий вид:

$$f(t_{ij}; \tau_j, \alpha_{ij}, \beta_i) = \frac{\alpha_{ij}}{\sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} [\alpha_{ij} (\ln t_{ij} - \{\mu + \beta_i + \tau_j\})]^2 \right\}, \quad (1.12)$$

где  $\alpha_{ij} = \sigma_{ij}^{-1}$ .

В модели используются следующие обозначения:

- $\beta_i$  — временной параметр, индивидуальный для задачи  $i$
- $\tau_j$  — временной параметр, индивидуальный для студента  $j$
- $\varepsilon_{ij}$  — случайное отклонение
- $\mu$  — параметр времени, общий для всего пула задач и всех обучающихся

Двухуровневая иерархическая модель, предложенная ван дер Линденом, является обобщением и расширением для двух более ранних моделей: модели Раша [25] для вероятности правильного ответа пользователя и логнормальной модели времени ответа, которую предложил Тиссен [26]. Модель ван дер Линдена позволяет ответить на ряд вопросов, которые не затрагиваются в данной работе: например, наличие корреляции (как между параметрами задачи, так и между студентами в группе). Адаптация системы дистанционного обучения с использованием времени ответа обучающегося проходит в рамках модели (1.11). На основе описанной вероятностной модели решаются задачи выявления случаев «нечестного» прохождения теста и конструирования индивидуального варианта заданной сложности в условиях ограниченного по времени теста.

### 1.3.2.3. Оценка параметров модели

Пусть в системе дистанционного обучения для формирования вариантов теста используется пул из  $K$  задач. При этом в тестировании принимают участие  $M$  студентов. Для каждого обучающегося  $j$  из общего числа студентов система дистанционного обучения формирует вариант из  $k$  задач. Обозначим время ответа студента  $j$  на задачу  $i$  как  $t_{ij}$ . Тогда для случайных параметров

модели (1.11) можно получить следующие оценки (см. [27, 28]):

$$\hat{\mu} = \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^k \ln t_{ij}}{k \cdot M}, \quad (1.13)$$

$$\hat{\beta}_i = \frac{\sum_{j=1}^M \ln t_{ij}}{M} - \hat{\mu}, \quad (1.14)$$

$$\hat{\tau}_j = \frac{\sum_{i=1}^n \ln t_{ij}}{k} - \hat{\mu}, \quad (1.15)$$

Эти оценки обладают рядом полезных свойств. Например, оценка  $\hat{\tau}_j$  имеет математическое ожидание

$$E[\hat{\tau}_j] = \tau_j \quad (1.16)$$

и дисперсию

$$Var(\hat{\tau}_j) = \frac{\sigma^2}{k}, \quad (1.17)$$

т.е. является несмещённой и состоятельной. Наконец, оценка для дисперсии случайного отклонения  $\varepsilon_{ij}$  имеет вид

$$\hat{\sigma}_{ij}^2 = \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^k (\ln t_{ij} - \hat{\tau}_j - \hat{\beta}_i)^2}{k \cdot M}, \quad (1.18)$$

Кроме аналитических оценок разработаны так же методы численного оценивания параметров модели, например с помощью генератора Гиббса [30], описание которых не входит в дипломную работу.

## 1.4. Методика исследования

### 1.4.1. Использование информации о фактическом времени ответа

Выражение для прогнозного времени ответа можно использовать для выявления аберраций (отклонений) в поведении пользователя (см. [28]). Для этого введём понятие отклонения (ошибки) прогноза.

Отклонением прогноза будем разность между прогнозным временем ответа и фактическим временем ответа студента. В логарифмической шкале разность будет иметь вид отношения

$$E_{ij} = \ln \tilde{T}_{ij} - \ln t_{ij} = \ln \frac{\tilde{T}_{ij}}{t_{ij}} \quad (1.19)$$

Из этого отношения можно сделать вывод, что ошибка прогноза - случайная величина, которая имеет нормальное распределение с параметрами

$$E_{ij} \sim N(\mu + \beta_i + \tau_j - \ln t_{ij}, \sigma_{ij}^2). \quad (1.20)$$

Таким образом, выявление отклонений в поведении студента сводится к задаче проверки того факта, что реализации  $e_{ij}$  случайной величины  $E_{ij}$  имеют нормальное распределение с соответствующими параметрами, индивидуальными для каждого студента и каждой задачи. Алгоритм такой проверки будет описан ниже.

#### 1.4.2. Обработка экспериментальных данных

Для применения на практике теоретических положений и математических моделей, описанных в разделе 1.3, исследовались реальные данные пользователей системы дистанционного обучения МАИ. На момент написания диплома в системе не фиксировалось время, которое студент тратит на решение контрольных и тестовых задач. В связи с этим в исходный код системы дистанционного обучения и структуру базы данных, которая используется системой, были внесены доработки, позволяющие фиксировать время ответа для всех существующих курсов («Математический анализ», «Линейная алгебра и аналитическая геометрия», «Теория вероятностей и математическая статистика»).

После внесённых изменений система фиксирует следующие данные: сколько раз была отображена каждая задача, сколько попыток произвел каждый студент для её решения и какое количество времени было затрачено для каждой из попыток. Таким образом, мы получаем набор исходных данных для статистической обработки в виде базы данных MySQL

Для получения оценок параметров модели, описанных в разделе 1.3.2.3, обработаем полученную статистику. Порядок обработки статистики покажем на примере задачи № 8.2.3 из курса «Математический анализ»

Вначале построим гистограмму для времени, которое студенты затрачивали для ответа на задачу

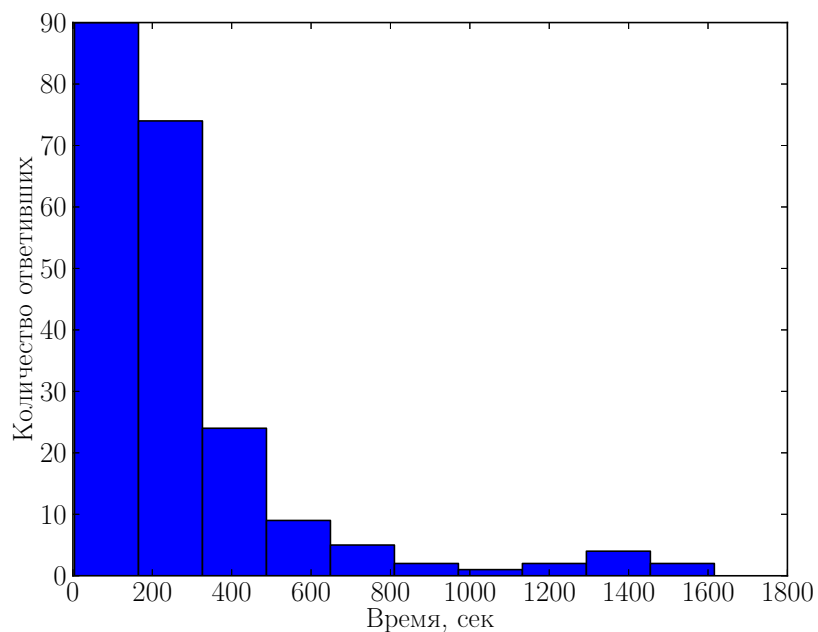


Рис. 1.3. Гистограмма времени ответа

Согласно модели, построенной в разделе 1.3.2.2, применим логарифмическое преобразование к времени ответа и построим гистограмму полученных значений:

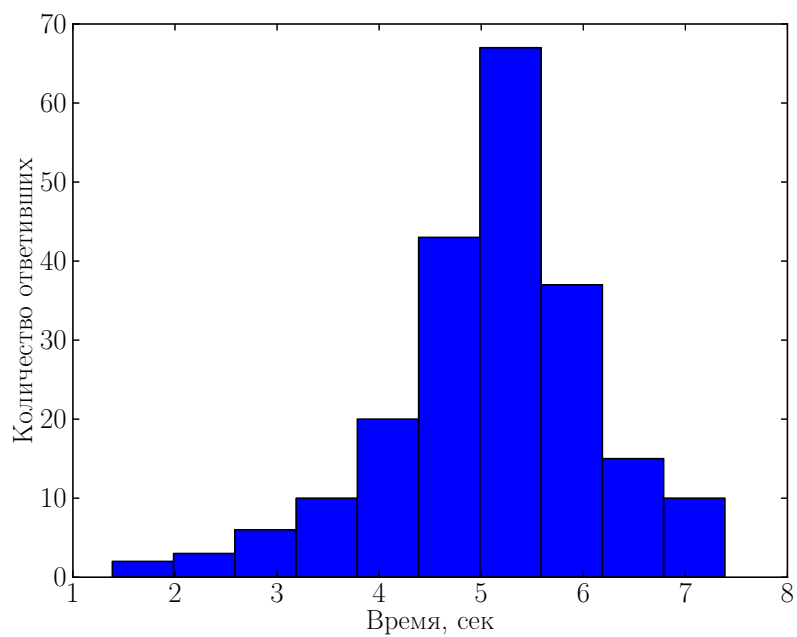


Рис. 1.4. Гистограмма времени ответа (логарифмический масштаб)

Как видно из данного примера, применение логарифмического преобразования к выборке по времени ответа обучающихся позволяет получить симметричный вид распределения, который походит на нормальное распределение.

Проверим статистическую гипотезу о нормальности распределения, используя критерий, основанный на понятиях асимметрии и эксцесса (см. [33, 34]). Выбор критерия обусловлен скоростью его работы (т.к. необходимо обрабатывать большое количество выборок объёма  $n \geq 20$ ). Выборочные оценки параметров асимметрии и эксцесса для выборки объёма  $n$  имеют вид:

$$\alpha_3 = \frac{1}{ns^3} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 - \text{асимметрия}; \quad \alpha_4 = \frac{1}{ns^4} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 - \text{эксцесс},$$

где  $s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$  - выборочная дисперсия. Для выборки, которая представляет собой реализации нормально распределённой случайной величины, моменты принимают значения  $\alpha_3 = 0$  и  $\alpha_4 = 3$ .

Для проверки гипотезы о нормальном распределении мы будем использовать комбинированный  $K^2$ -критерий (см. [35]). Статистика критерия имеет вид:

$$K^2 = X^2(\alpha_3) + X^2(\alpha_4),$$

где  $X(\alpha_3), X(\alpha_4)$  - стандартная нормальная аппроксимация  $\alpha_3$  и  $\alpha_4$  [36].

Если основная гипотеза является истинной, статистика  $K^2$  имеет распределение  $\chi^2$  с  $f = 2$  степенями свободы. Критическая область для значения статистики  $K^2$  на выборке  $X$  для уровня значимости  $\alpha$  имеет вид  $K_X^2 > \chi_{1-\alpha}^2(2)$ . Тест проводился на выборках размером  $s > 20$  для использования стандартной нормальной аппроксимации. В таблице приведены значения объёма выборки  $n$ , асимметрии  $\alpha_3$ , эксцесса  $\alpha_4$ , статистики  $K^2$ . Значение квантили для уровня значимости  $\alpha = 0.05$  составляет  $\chi_{0.95}^2(2) = 5.99$  (критическая точка). Критическая область находится справа от критической точки, т.е. если значение статистики больше 5.99 - гипотеза о нормальности распределения отклоняется на уровне значимости 0.05.

Таблица 1.1. Проверка гипотезы о нормальном распределении

Задача	$n$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$K^2$
1.2.5	31	-0.08	2.53	0.11
1.2.8	25	0.05	2.95	0.256
10.3.2	21	-0.18	2.85	0.329
11.2.4	51	-0.12	2.78	0.144
2.2.2	42	-0.14	2.5	0.41
2.2.7	58	0.18	2.89	0.417
4.2.1	48	-0.08	2.67	0.094
5.3.4	21	0.11	2.59	0.066
6.1.3	41	-0.14	2.6	0.23
6.2.5	90	-0.09	2.92	0.178
6.3.10	25	0.24	2.54	0.366
6.3.2	29	-0.2	2.95	0.487
6.3.4	27	-0.07	2.42	0.193
7.2.7	73	-0.0	2.8	0.002
7.3.1	32	-0.04	2.49	0.142
7.3.6	31	-0.23	2.51	0.465

Из таблицы видно, что вычисленные значения статистики попадают в доверительную область критерия. Таким образом, время ответа на задачу в СДО имеет нормальное распределение.

Приведём оценки для параметров модели. Модель, описанная уравнением (1.11) применяется к экспериментальным данным следующим образом: пусть для каждого студента  $j$  из общего количества студентов  $M$  система дистанционного обучения случайным образом выбирает  $k$  задач из пула задач объёма  $K$ . Тогда по результатам тестирования мы получаем следующую таблицу:

Таблица 1.2. Время ответа

	Студент			
Задача	1	2	...	M
1	$t_{11}$	$t_{12}$	...	$t_{1M}$
2	$t_{21}$	$t_{22}$	...	$t_{2M}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
K	$t_{k1}$	$t_{k2}$	...	$t_{kM}$

Таблица отражает время  $t_{ji}$ , которое затратил студент  $j$  при ответе на



задачу  $i$ . Время ответа имеет логнормальное распределение, согласно п. (1.11).

Оценка параметров модели происходит на основании данных таблицы (1.4) согласно формулам (1.13) - (1.18). Операции по индексу  $i$  представляют собой операции над строками таблицы, операции по индексу  $j$  - над столбцами. Приведём оценки параметров для группы из случайным образом выбранных  $M = 15$  студентов, которые проходят тест из  $k = 16$  задач.

Параметры студентов:

Таблица 1.3. Параметры студента

id студента	400	450	243	198	534	...	537	652	126	158
$\tau$ студента	-0.37	1.4	-0.69	-0.73	-0.13	...	-0.17	-0.04	1.51	1.32

Параметры задач:

Таблица 1.4. Параметры задачи

задача	10.3.2	6.3.4	11.2.4	1.2.5	...	6.1.3	7.3.1	4.2.1	1.2.8
$\beta$ задачи	1.47	1.08	-0.75	-1.17	...	0.94	1.5	-0.6	-0.85

Используя оценки, полученные в пункте 1.3.2.3, продемонстрируем приложимость модели к решению задачи выявления отклонений в поведении студентов. Модель применяется для выявления случаев, когда студент пользуется ответами на задачу [37] (полученными, например, от других обучающихся).

Для моделирования эксперимента необходимо оценить параметры модели. Для оценки параметров воспользуемся статистической информацией из базы данных системы дистанционного обучения МАИ по курсу «Математический анализ».

Для демонстрации работы модели из полученной базы данных были выбраны случайным образом 30 обучающихся и набор из  $k = 9$  задач. Согласно формулам (1.13) - (1.18) были получены оценки параметров модели  $\hat{\tau}_j$  (для каждого студента),  $\hat{\beta}_i$  (для каждой задачи) и  $\hat{\mu}$  (временной параметр, общий для всех студентов и всех задач).

Для проверки работы модели продемонстрируем две последовательности - последовательность значений времени ответа на задачи теста для студента,

который отвечает на задания «честно» и аналогичную последовательность для студента, который пользуется готовыми ответами на некоторые задачи.

Для моделирования «мошеннических» ответов воспользуемся следующим приёмом, описанным в [31]. Согласно формуле (1.11), время ответа студента, который не обладает ответами на задачи, имеет логнормальное распределение:

$$\ln T_{ij} \sim N(\mu + \beta_i + \tau_j, \sigma_{ij}^2),$$

а если студент  $j$  получил ответ на задачу  $i$  заранее, то время ответа так же имеет логнормальное распределение, но с другим параметром смещения:

$$\ln T_{ij} \sim N(\mu + \beta_i + \tau_j + L, \sigma_{ij}^2),$$

где величина  $L$  задаётся исследователем. В [28] в качестве значения  $L$  принимается оценка дисперсии параметра  $\tau_j$ , взятая с противоположным знаком:

$$L = (-1) \cdot Var(\hat{\tau}_j) = (-1) \cdot \frac{\sigma_{ij}^2}{k} \quad (1.21)$$

Выберем из группы студента случайным образом. Пусть у выбранного студента имеются заранее подготовленные ответы на задачи под номерами [3, 6, 9]. Проведём моделирование ответов студента, который «мошенничает» при прохождении теста, параметр смещения определим из соотношения (1.21).

Так же для этого студента рассчитаем прогнозное время ответа. На столбчатой диаграмме отобразим прогнозные и смоделированные величины. Для наглядности прогнозное время ответа отображается «как есть» (верхняя полуплоскость), а вместо значения смоделированной величины берём ей противоположную (столбец при этом зеркально отобразится в нижнюю полуплоскость).

Над каждым столбцом подписано соответствующее ему числовое значение (для удобства).

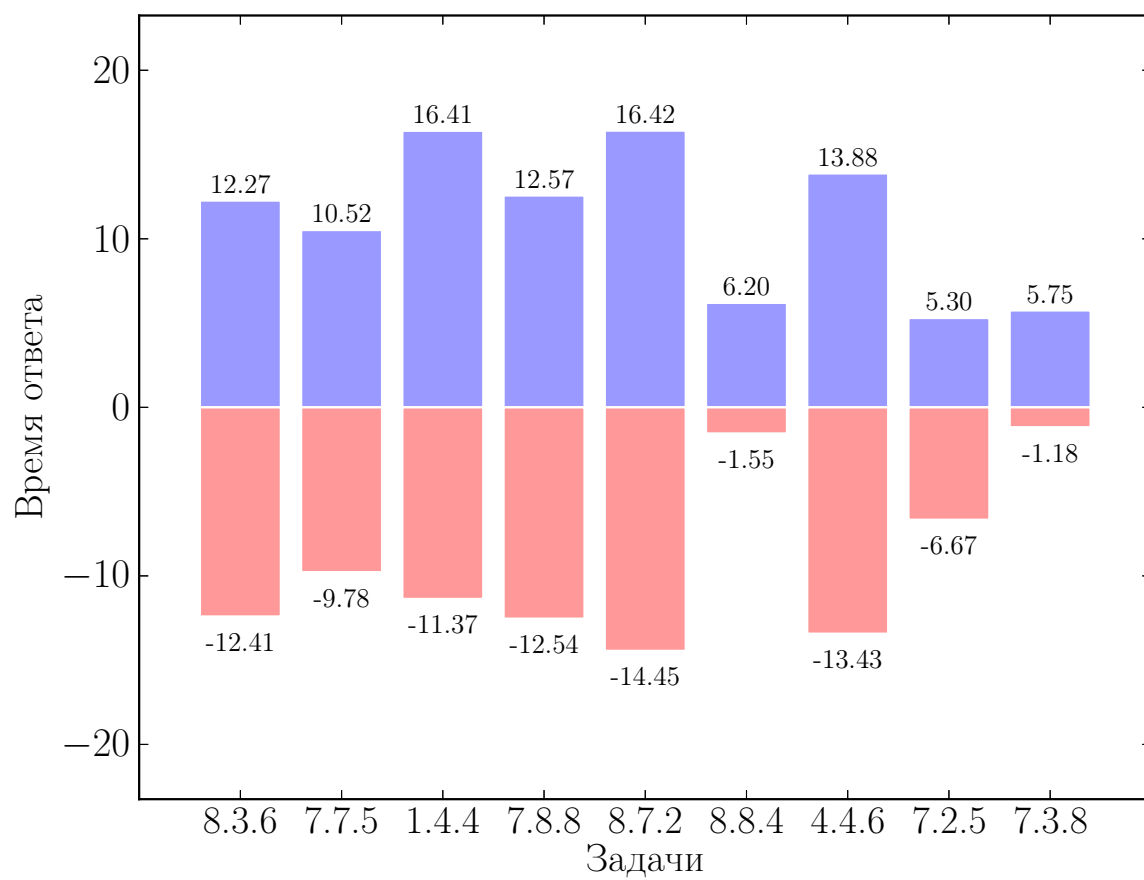


Рис. 1.5. Сравнение прогнозных и модельных данных

Построим ещё одну диаграмму, на которой отобразим разность между смоделированными и прогнозными данными - ошибку прогноза.

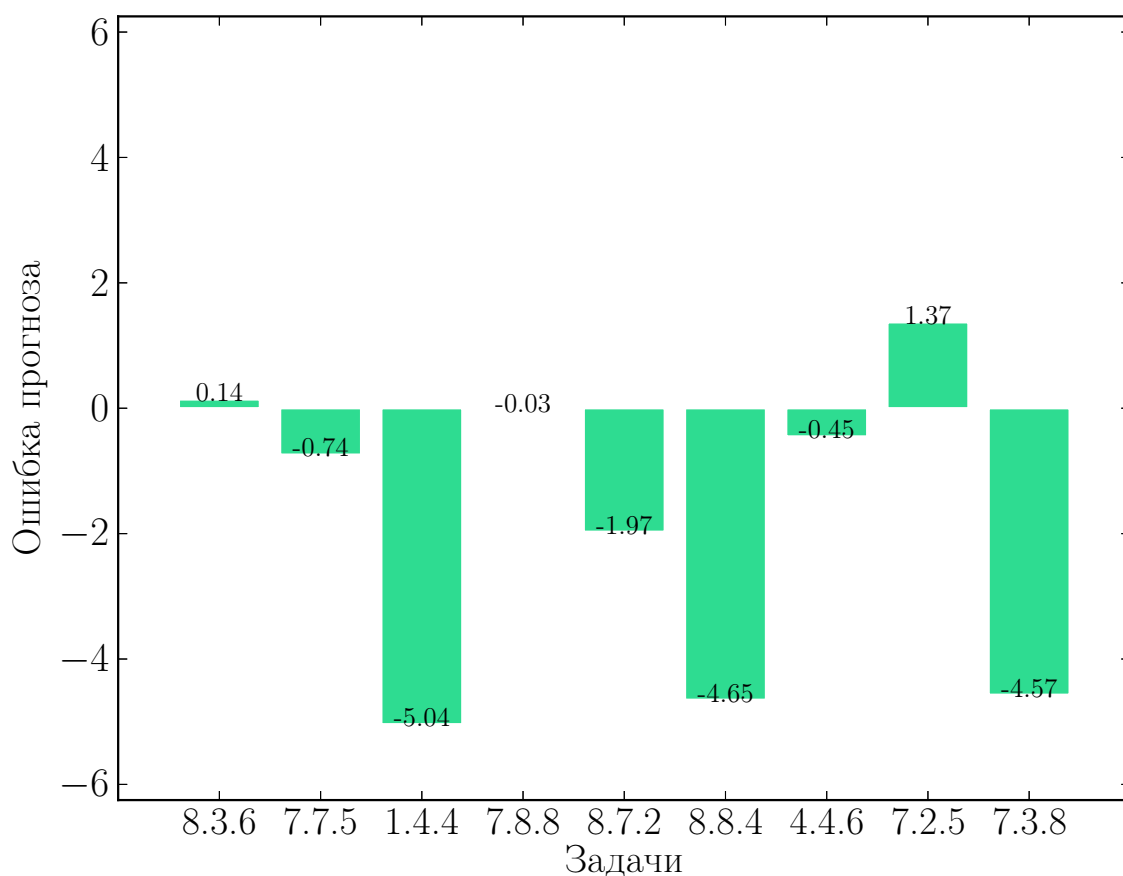


Рис. 1.6. Ошибка прогноза

На диаграмме видно, что ошибка прогноза для «скомпроментированных» задач выше, чем для задач, которые решались честно - фактическое время ответа на такие задачи значительно меньше, чем прогнозное. Используем эту идею для выявления «скомпроментированных» задач.

Алгоритм выявления скомпроментированных задач:

- 1) на основании имеющейся информации получить оценки для параметров  $\hat{\mu}, \hat{\tau}_j, \hat{\beta}_i, \hat{\sigma}_{ij}$ ;
- 2) для студента  $j$  при ответе на задачу  $i$  вычисляем параметры распределения времени ответа:  $\log T_{ij} \sim N_{ij}(\hat{\mu} + \hat{\tau}_j + \hat{\beta}_i, \hat{\sigma}_{ij}^2)$ ;
- 3) находим левую границу одностороннего интервала на уровне доверительной вероятности  $p = 0.05$  (квантиль уровня  $p$  [29]);

- 4) если время ответа меньше полученной левой границы - задачу считаем скомпроментированной;

Описанная модель позволяет решить две основных задачи: во-первых, выявить студентов, которые пользуются готовыми ответами при работе с СДО, а во-вторых, выявить скомпроментированные задачи и удалить их из пула заданий для данной группы студентов.

## 1.5. Содержание выполненной работы

Выполненная дипломная работа состоит из двух основных разделов: теоретической части работы и практической части работы.

В рамках теоретической части работы были проанализированы различные подходы, к исследованию времени, которое обучающийся тратит на ответ в системах компьютерного тестирования. Ряд подходов к данной проблеме представлен в разделе 1.3.

По результатам проведённого анализа в теоретической части работы для решения задачи, сформулированной в Введении, была выбрана одна из составляющих двухуровневой иерархической модели ван дер Линдена - логнормальная модель времени ответа.

Практическая часть выполненной работы состояла из двух основных частей - это доработка существующей системы дистанционного обучения для решения задачи, поставленной в дипломной работе, и получения экспериментальных данных для дальнейшей статистической обработки с целью оценки параметров модели. С использованием полученной модели был описан алгоритм выявления скомпроментированных задач.

Практическая часть работы включала в себя доработку системы дистанционного обучения и обработку экспериментальных данных. В процессе работы над поставленной задачей возникла необходимость доработки системы дистанционного обучения. На момент написания дипломной работы система дистанционного обучения не производила учет времени, которое студент затрачивает при ответе на задачи в процессе работы с системой. Однако эта информация была нужна для проверки теоретических положений на практике. Для решения данной задачи были предприняты следующие шаги:

- построена диаграмма классов модуля системы дистанционного обучения

- проанализированы связи на диаграмме
- спроектированы изменения, которые нужно внести в системы дистанционного обучения для решения задачи
- внесены изменения в программный код системы дистанционного обучения

В результате произведённых действий в системе дистанционного обучения появилась возможность фиксировать время, которое студент затрачивает для ответа на задачи. Реализация указанных изменений была произведена с использования языка веб-программирования PHP (который является основным языком разработки СДО МАИ CLASS.NET) и модификации базы данных MySQL, которую использует система.

При обработке экспериментальных данных были решены следующие задачи:

- разработан алгоритм обращений к базе данных на языке запросов SQL
- проведена первичная обработка экспериментальных данных
- была проверена гипотеза о логнормальном распределении времени ответа
- согласно разработанным алгоритмам была проведена оценка параметров модели

Для визуального анализа полученных статистических данных были построены гистограммы. При статистической обработке данных использовался язык программирования Python и библиотека статистических методов stats.py.

## 1.6. Задача конструирования ограниченных по времени тестов

В качестве одного из приложений построенной модели можно привести задачу формирования индивидуальных заданий для ограниченных по времени тестов. Для корректной оценки знаний учащихся необходимо проведение рубежного контроля, который включает в себя задачи разных типов. Обычно

время проведения рубежного контроля ограничено - поэтому важно подобрать задачи таким образом, чтобы студенту хватило времени для его прохождения. Вероятностная модель времени ответа позволяет конструировать задания, которые учитывают индивидуальные особенности студентов.

Описанная проблема сводится к следующей задаче линейного программирования с вероятностным ограничением (задача решается для конкретного студента, т.е. примем  $t_{ij} \sim t_i$  для кратковости):

$$\left\{ \begin{array}{ll} c - \sum_{i=1}^n w_i x_i \rightarrow \min & \\ \sum_{i=1}^n x_i = k & // \text{ количество задач в индивидуальном задании} \\ c - \sum_{i=1}^n x_i \geq -\varepsilon & // \text{ допустимая погрешность} \\ c - \sum_{i=1}^n x_i \leq \varepsilon & // \text{ допустимая погрешность} \\ P\left(\sum_{i=1}^n x_i t_i \leq T\right) \geq \alpha & // \text{ вероятностное ограничение на время теста} \end{array} \right.$$

где

$c$  — требуемая сложность задания

$k$  — число задач в задании

$n$  — общее количество задач в пуле

$w_i$  — сложность задания  $i$

$x_i$  — принадлежность задачи  $i$  тесту

$i$  — номер задания,  $i = 1, \dots, K$

$j$  — номер студента, для которого генерируется задание,  $j = 1, \dots, M$

$K$  — количество задач в пуле

$M$  — количество пользователей

Переменная  $x_i$  является бинарным признаком принадлежности задачи тесту в следующем смысле:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{задача } i \text{ попала в индивидуальное задание} \\ 0, & \text{задача } i \text{ не попала в индивидуальное задание} \end{cases}$$

Так как случайные величины  $t_i$ , которые входят в вероятностное ограничение, распределены нормально и закон их распределения известен, то для данной задачи в стохастической постановке можно выписать детерминированный эквивалент [32]:

$$\left\{ \begin{array}{l} c - \sum_{i=1}^n w_i x_i \rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^n x_i = k \\ c - \sum_{i=1}^n x_i \geq -\varepsilon \\ c - \sum_{i=1}^n x_i \leq \varepsilon \\ \sum_{i=1}^n x_i m_i + \Phi^{-1}(1 - \alpha) \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sigma_i^2} \leq T \end{array} \right.$$

где  $\Phi(x)$  - функция Лапласа. Т.к. время ответа имеет логнормальное распределение, то и линейная комбинация (которая входит в вероятностное ограничение) так же распределена нормально.

## 1.7. Результаты

В дипломной работе приведены предпосылки к необходимости моделирования времени, которое студент затрачивает при ответе на задачи в системе дистанционного обучения. Формулируется математическая вероятностная модель времени ответа, для которой приводятся аналитические оценки параметров.

Корректность модели и степень её применимости проверяется на реальных данных СДО МАИ CLASS.NET. Для этого в программный код системы вносятся изменения для получения необходимой статистической информации о пользователях. Внесённые доработки позволяют фиксировать время ответа студента и сохранять его для дальнейшей обработки. Добавлением новых таблиц изменена структура базы данных, а так же модифицирован алгоритм внесения информации о работе пользователя в БД. Разработана программная библиотека на языке программирования Python для доступа к базе данных и работы со статистической информацией. По результатам обработки экспериментальных данных был сделан вывод о соответствии математической мо-



дели и реальных данных СДО МАИ CLASS.NET.

Согласно сформулированной математической модели была произведена оценка параметров по реальным данным с использованием разработанного программного модуля. Была разработана процедура прогнозирования времени ответа пользователя.

По результатам сравнения прогнозных значений с фактическими производится вывод о том, не обладал ли студент ответами к решаемой задаче. Описан алгоритм принятия решения, использующий понятие доверительного интервала.

На основании решения о компроментации задачи можно принимать различные административные решения: назначить пользователю решение дополнительных задач, убрать скомпроментированные задачи из пула для данной группы студентов и т.д.

В качестве одного из приложений описанной математической модели приведена задача конструирования ограниченных по времени тестов с учётом индивидуальных способностей студента.

## 2. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

## 2.1. Введение в экономический раздел

Целью дипломной работы является доработка системы дистанционного обучения МАИ с целью адаптации системы на основе поступающей информации о времени, которое студент затрачивает для ответов на задачи в процессе тестирования. На основании анализа времени ответа делается вывод о том, не было ли у студента заранее приготовленных ответов на задачи теста.

В основной части диплома описывается математическое обеспечение системы и программная реализация, которые в совокупности представляют собой завершённый программный продукт, готовый для продажи на рынке программного обеспечения.

В экономической части диплома производится расчёт затрат, которые несёт заказчик программного обеспечения системы дистанционного обучения МАИ. Исходя из затрат формируется стоимость проекта. По результатам оценки стоимости проекта производится расчёт экономической эффективности. Так же на основании сетевого графика производится расчёт временных параметров проекта и вероятность его успешного выполнения в установленный срок.

## 2.2. Сетевой график

Сетевой график представляет собой графическое отображение этапов работ, которые необходимо провести для завершения дипломного проекта. С помощью сетевого графика можно спрогнозировать общее время, которое потребуется для выполнения проекта, а так же вычислить вероятность выполнения проекта в срок.

### 2.2.1. Таблица этапов работ

По каждому этапу дипломной работы указано минимальное время выполнения этапа и максимальное время выполнения этапа. Исходя из этих значений рассчитывается ожидаемое время, которое потребуется затратить на данный этап:

$$t_{exp} = \frac{2t_{min} + 3t_{max}}{5}$$

Дисперсия времени работы вычисляется по формуле

$$t_{exp} = \left( \frac{t_{max} - t_{min}}{5} \right)^2$$

По результатам расчётов построим таблицу

Таблица 2.2: Таблица этапов работ

Этап	Событие	Шифр	Работа	$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{exp}$	$\sigma$
1	Изучение литературы	1-4	Изучение литературы по основной части диплома	2	5	3,8	0,36
		1-12	Изучение литературы по экономической части	3	6	4,8	0,36
		1-10	Изучение литературы по охране труда и окружающей среды	1	4	2,8	0,36
2	Окончание доработки СДО	2-7	Анализ структуры и программного кода СДО	6	9	7,8	0,36
3	Получен список необходимых доработок	3-2	Доработка СДО для получения экспериментальных данных и оценки параметров модели	4	8	6,4	0,64
4	Необходимость построения математической модели	4-5	Изучение математических методов моделирования времени ответа в СДО	2	5	3,8	0,36
5	Завершение математической модели	5-6	Применение математической модели для анализа времени ответа	7	11	9,4	0,64
		5-2	Описание математической модели	6	9	7,8	0,36
7	Оценка параметров модели	7-8	Оценка по экспериментальным данным параметров модели	7	10	8,8	0,36
		7-9	Применение модели к реальным входным данным	2	5	3,8	0,36
8	Прогнозирование ответа на основании модели	8-9	Получение результатов обработки реальных данных	3	6	4,8	0,36
9	Построение таблиц, диаграмм, анализ полученных данных	9-14	Оформление результатов практической части	4	7	5,8	0,36
10	Раздел «Охрана труда и окружающей среды»	10-11	Написание теоретического материала раздела «Охрана труда и окружающей среды»	3	5	4,2	0,16
11	Расчет кондиционирования	11-14	Проведение расчётов	6	8	7,2	0,16
12	Раздел «Экономическая эффективность»	12-13	Написание теоретического материала раздела «Экономическая эффективность»	2	5	3,8	0,36
13	Построение сетевого графика	13-14	Проведение расчётов	6	9	7,8	0,36
14	Оформление готового диплома	-	Оформление полученных результатов				

### 2.2.2. Построение сетевой модели

Построим на основании таблицы из п. (1.2.1) «Таблица этапов работ» сетевой график. Круги обозначают события, стрелками обозначены работы. Подписи над стрелками указывают ожидаемое время выполнения работы.

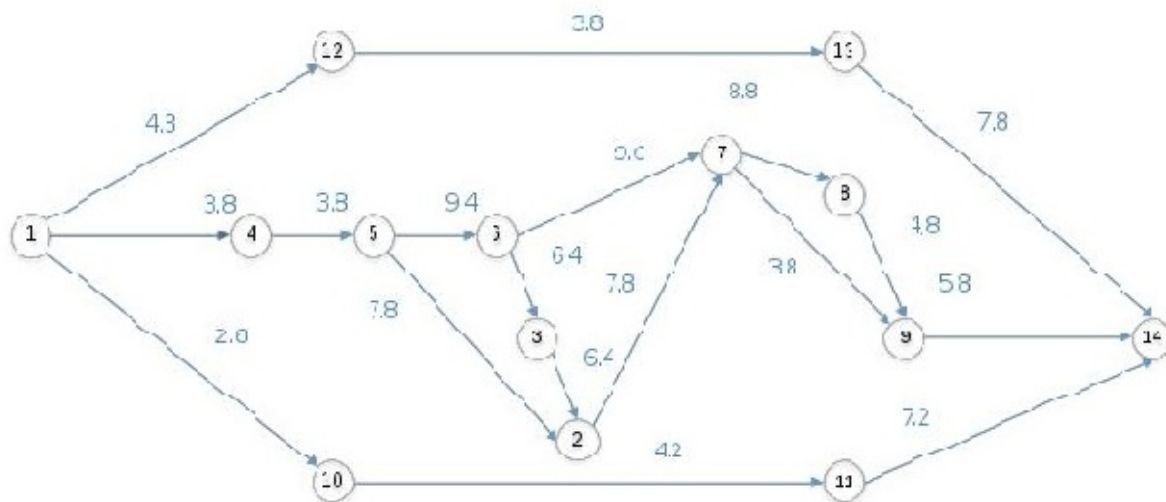


Рис. 2.1. Сетевой график

### 2.2.3. Анализ сетевой модели.

*Путь* в сетевой модели называется последовательность работ, соединяющая две любые работы на графике (если такая последовательность существует). Введём обозначения:  $L_{1(i)}$  - путь, предшествующий событию  $i$ ,  $L_{2(i)}$  - путь, следующий за событием  $i$ .

Критический путь на сетевой модели (последовательность событий от начала проекта к концу проекта, имеющая максимальную длину):

$$L = 1 - 4 - 5 - 6 - 3 - 2 - 7 - 8 - 9 - 14$$

Длина пути  $T(L) = \sum_{i-j} t_{i-j}$  (где  $t_{i-j}$  - длительность работы с меткой  $i-j$ ) - сумма длительностей работ, которые выполняются при следовании по пути.

Длина критического пути:

$$T_{кр}(L) = 3.8 + 3.8 + 9.4 + 6.4 + 6.4 + 7.8 + 8.8 + 4.8 + 5.8 = 57 \text{ дней}$$

Ранний срок наступления события:  $t_{p(i)} = \max(T(L_{1(i)}))$

Ранний срок начала работы:  $t_{рн(i-j)} = \max(T(L_{1(i)}))$

Ранний срок окончания работы:  $t_{ро(i-j)} = t_{p(i)} - t_{(i-j)} = \max(T(L_{1(i)})) + t_{(i-j)}$

Поздний срок наступления события:  $t_{п(i)} = T_{кр}(L) - \max(T(L_{2(i)}))$

Поздний срок начала работы:  $t_{пн(i-j)} = t_{по(i)} - t_{(i-j)}$

Поздний срок окончания работы:  $t_{по(i-j)} = t_{п(j)} = T_{кр}(L) - \max(T(L_{2(i)}))$

Общий резерв времени работы:  $R_{(i-j)} = t_{по(i-j)} - t_{ро(i-j)} = t_{п(j)} - t_{р(j)} - t_{(i-j)}$

Свободный резерв времени работы:  $r_{(i-j)} = t_{р(i-j)} - t_{ро(i-j)} = t_{р(j)} - t_{р(i)} - t_{(i-j)}$

Резерв времени события:  $r_{(i)} = t_{п(i)} - t_{р(i)}$

Результат расчёта параметров для сетевой модели работы над дипломным проектом представлен в таблице:

Таблица 2.3: Параметры сетевой модели

Шифр	$t_{exp}$	$\sigma$	$t_{рн(i-j)}$ $t_{р(i)}$	$t_{ро(i-j)}$	$t_{пн(i-j)}$ $t_{п(j)}$	$t_{по(i-j)}$	$R_{(i-j)}$	$r_{(i-j)}$	$r_{(i)}$
1-4	3,8	0,36	0	3,8	8,8	12,6	8,8	0	8,81
1-12	4,8	0,36	0	4,8	49,4	54,2	49,4	0	49,4
1-10	2,8	0,36	0	2,8	51,6	54,4	51,6	1,4	51,6
2-7	7,8	0,36	29,8	37,6	38,6	46,4	8,8	0	8,8
3-2	6,4	0,64	23,4	23,4	32,2	38,6	15,2	6,4	15,2
4-5	3,8	0,36	3,8	7,6	12,6	16,4	8,8	2,7	8,8
5-6	9,4	0,64	7,6	17	16,4	25,8	8,8	9,6	8,8
5-2	7,8	0,36	15,4	15,4	30,8	38,6	23,2	14,4	23,2
6-3	6,4	0,64	17	23,4	25,8	32,2	8,8	0	8,8
6-7	9,6	0,04	26,6	26,6	36,8	46,4	19,8	11	19,8
7-8	8,8	0,36	37,6	46,4	46,4	55,2	8,8	0	8,8
7-9	3,8	0,36	37,6	51,2	56,2	60	8,8	0	8,8
8-9	4,8	0,36	46,4	51,2	55,2	60	8,8	0	8,8
9-14	5,8	0,36	51,2	57	60	65,8	8,8	0	8,8
10-11	4,2	0,16	2,8	7	54,4	58,6	51,6	0,2	51,6
11-14	7,2	0,16	7	14,2	58,6	65,8	51,6	0	51,6
12-13	3,8	0,36	4,8	8,6	54,2	58	49,4	0	49,4
13-14	7,8	0,36	8,6	16,4	58	65,8	49,4	0	49,4

Директивный срок выполнения проекта составляет 122 дня, при этом

длина критического пути 57 дней – таким образом, проект будет завершён в срок и нет необходимости перестраивать сетевой график проекта. Сумма дисперсий работ, лежащих на критическом пути, составляет 4.08. Среднеквадратическое отклонение для критического пути составляет  $\sqrt{4.08} = 2.02$ . Доверительный интервал для срока выполнения всех работ имеет вид  $[50.6 - 2.02, 50.6 + 2.02] \sim [30.58, 52.62]$ . Вероятность выполнения работы в срок составляет  $P = \Phi((122 - 50.6)/2.02) = \Phi(35.3) \sim 1$ , где  $\Phi(x)$  – функция Лапласа.

## 2.3. Расчет затрат

В разделе описаны основные затраты разработчика, влияющие на цену конечного продукта: расходные материалы, аренда помещений, заработная плата и т.д.

### 2.3.1. Материальные

Для выполнения дипломного проекта требуется приобрести следующие материальные активы: шариковые ручки, бумагу формата А4, картридж для принтера, скрепки для степлера. Количество материалов, а так же их стоимость приведены в таблице 2.3:

Таблица 2.3. Материалы

Товар	Цена (руб.)	Количество (шт.)	Сумма (руб.)
Ручка	40	5	200
Скрепки	2	20	40
Файл для бумаг	3	10	30
Пачка бумаги А4(200шт)	150	1	150
Картридж	400	4	1600
Итого			2020

Таким образом, материальные затраты на написание диплома составляют  $M = 2020$  руб.

### 2.3.2. Заработная плата

При работе над экономической частью дипломного проекта необходимо рассчитать заработную плату сотрудникам, задействованным в работе над дипломом.

В работе над дипломным проектом принимают участие научный руководитель, студент, консультанты. Для каждого специалиста вычисляется объём заработной платы, исходя из почасовой ставки и времени, в течение которого специалист участвует в проекте.

Расчёты приведены в таблице 2.4, данные по заработной плате научных руководителей и консультантов соответствуют зарплатам в Московском авиационном институте за 2013 г. Оплата для студента, выполняющего дипломную работу, соответствует размеру стипендии.

Таблица 2.4. Заработная плата

Специалист	Заработная плата	Количество часов	Количество часов на одного дипломника	Почасовая оплата	Заработная плата
Научный руководитель	40000	90	24	444	10666
Консультант по экономической части	40000	90	2	444	888
Консультант по охране труда и окружающей среды	40000	48	2	833	1666
Студент	3000	-	-	-	12000
Итого					25220

Итого затраты на заработную плату составят  $Z = 25220$  руб.

### 2.3.3. Расходы на амортизацию оборудования

Оборудование, которое использовалось в ходе выполнения дипломной работы, подлежит амортизации. Амортизации подвергаются основные средства



и нематериальные активы для переноса части их стоимости в цену производимой продукции.

Основным оборудованием (средством производства) является ноутбук DELL Vostro 1440 стоимостью  $N = 21459$  руб. Расчет амортизации произведём линейным способом:

$$A = \frac{S \cdot n \cdot t}{100 \cdot T}$$

В таблице 2.5 приведены расшифровка и значения переменных формулы:

Таблица 2.5. Амортизация оборудования

Переменная	Описание	Значение
S	Стоимость оборудования	21459 руб.
n	Годовая норма амортизации	20 %
t	Время работы оборудования	252 часа
T	Эффективный срок работы оборудования	1800 часов

Произведём расчёт согласно данным таблицы:

$$A = \frac{21459 \cdot 20 \cdot 252}{100 \cdot 1800} = 601 \text{ (руб.)}$$

Таким образом, амортизация ноутбука за период написания диплома составит 601 руб.

## 2.4. Социальные отчисления

Работодателю необходимо произвести социальные отчисления с зарплаты работников в следующем размере:

Взносы в ФФОМС: 5.1%

Взносы в ФСС: 2.9%

Взносы в Пенсионный фонд: 22%

Таким образом, на затраты на социальные отчисления составят (с учётом

фонда оплаты труда из пункта 2.3.2 «Заработная плата»)

$$P = Z \cdot (5.1 + 2.9 + 22)\% = Z \cdot 30 = 25220 \cdot 30\% = 7566 \text{ (руб.)}$$

Итого, размер социальных выплат составит 7566 руб.

## 2.5. Прочие расходы

### 2.5.1. Транспортные расходы

Затраты на транспорт фигурируют в работе над дипломным проектом, т.к. встречи между участниками проекта происходят на территории МАИ и каждый из работников затрачивает денежные средства на то, чтобы добраться до института. Предполагается, что все участники добираются до на метро.

В таблице 2.6 для каждого участника учтено количество поездок (определяется исходя из этапов работы над дипломом), а так же полные затраты на транспорт за период написания диплома:

Таблица 2.6. Транспортные расходы

Специалист	Количество поездок	Стоимость 1-ой поездки	Итого
Научный руководитель	16	28	448
Консультант по экономической части	2		56
Консультант по охране труда и окружающей среды	2		56
Студент	20		560
Итого			1120

Итого расходы на транспорт составляют  $M = 1120$  руб.

### 2.5.2. Связь

К прочим расходам относятся так же расходы на мобильную связь. Исходя из того, что стоимость одного комплексного тарифного плана оператора сотовой связи «МТС», включающего 300 минут разговоров и неограниченное количество смс составляет 500 руб. для каждого участника разработки диплома, то за 4 месяца для 4-х человек получаем

$$B = 500 \cdot 4 \cdot 4 = 8000 \text{ (руб.)}$$

Итого, расходы на связь составляют 8000 руб.

### 2.5.3. Интернет

Ежемесячная абонентская плата за Интернет составляет 200 руб, общая продолжительность дипломного проекта составляет 4 месяца. Таким образом, затраты на Интернет в течение периода составляет

$$S = 200 \cdot 4 = 800$$

Итого, расходы на Интернет составляют  $S = 800$  руб.

### 2.5.4. Электроэнергия

Тарифы на электроэнергию в Москве составляют 4р/КВтч. Ежедневное энергопотребление работающего компьютера составляет 50 КВт за 4 часа работы. С учётом 7-ми дневной рабочей недели, получаем за 4 месяца.

$$E = 50 \cdot 7 \cdot 4 \cdot 4 = 11200$$

Таким образом, окончательно получаем

$$Y = 800 + 8000 + 1120 + 11200 = 21120$$

Итого, прочие расходы составляют 21120 руб.

## 2.6. Расчет экономической эффективности

Для расчёта экономической эффективности нужно вычислить себестоимость продукта, его цену продажи, а так же экономический эффект, который ожидается от внедрения продукта

### 2.6.1. Расчёт цены на продукт

Чтобы рассчитать цену на продукт, необходимо вычислить его себестоимость. Себестоимость продукта с определяется как сумма всех затрат, вычисленных в пункте 2.3 «Расчет затрат».

$$SS = M + Z + A + P + Y = \\ = 2020 + 25220 + 601 + 7566 + 21120 = 56527 \text{ руб.}$$

Норма прибыли равна 5%. НДС, который так же нужно учесть в цене, составляет 18%. Тогда цена на продукт составит

$$C = 56527 \cdot (100\% + 5\% + 18\%) = 63876 \text{ (руб.)}$$

## 2.7. Экономический эффект

Экономический эффект, который принесёт внедрение доработок в систему дистанционного обучения, заключается в ликвидации недополученной прибыли за дополнительные занятия для студентов.

После внедрения системы появится возможность выделить среди группы студентов, проходящих курсы в системе дистанционного обучения, тех пользователей, которые решают задачи теста с заранее имеющимися ответами.

Если студент использует готовые ответы – он не до конца освоил нужный курс и нуждается в дополнительных занятиях. Оценим прибыль, которую институт может получить за один семестр по формуле:

$$L = N \cdot i \cdot k \cdot V$$

В таблице 2.7 приведены расшифровка и значения переменных в формуле.

Таблица 2.7. Экономический эффект

Переменная	Описание	Значение
N	Количество студентов	430
i	Доля воспользовавшихся ответами	15 %
k	Стоимость одного доп. занятия на курсах	540 руб.
V	Количество доп. занятий	4 шт

Таким образом, получаем:

$$L = N \cdot i \cdot k \cdot V = 430 \cdot 15 \cdot 540 \cdot 4 = 139320 \text{ (руб.)}$$

Итого, экономический эффект от модификации системы дистанционного обучения составит 139320 руб в семестр.

### 2.7.1. Экономическая эффективность

Для расчёта экономической эффективности необходимо учесть расходы на внедрение системы и эксплуатацию сервиса.

Расходы на внедрение системы вычисляются по формуле

$$C_{\text{вн}} = t_{\text{вн}} \cdot p,$$

где  $t_{\text{вн}} = 3$  часа - время, необходимое для установки системы на сервер и  $p = 630$  руб - почасовая ставка программиста, который занимается развёртыванием системы

$$C_{\text{вн}} = 3 \cdot 630 = 1890 \text{ (руб.)},$$

Расходы на эксплуатацию сервиса складываются из затрат на оплату

сервера, который использует система дистанционного обучения:

$$C_{\text{эксп}} = t_{\text{эксп}} \cdot c,$$

где  $t_{\text{эксп}} = 6$  мес. (расчёты производим за семестр) и  $c = 1200$  руб. – ежемесячная оплата сервера. Тогда

$$C_{\text{эксп}} = 6 \cdot 1200 = 7200 \text{ (руб.)}.$$

Итого получаем срок окупаемости вложенных средств:

$$T_{\text{ок}} = \frac{C_{\text{эксп}} + C_{\text{вн}} + C}{L} = \frac{7200 + 1890 + 63876}{139320} = 0.52 \text{ (семестра)}$$

Таким образом средства, вложенные в систему, будут возвращены в течение половины семестра.

## 2.8. Вывод

В экономической части дипломной работы был произведён расчёт себестоимости и цены продажи проекта.

Построен сетевой график выполнения дипломной работы. По графику найден критический путь и рассчитаны параметры сетевой модели для каждого узла. По рассчитанным параметрам произведена оценка наиболее вероятного срока выполнения проекта, а так же вычислена вероятность завершения проекта в срок.

Была проведена оценка затрат на введение и эксплуатацию системы, а так же оценка прибыли, которую принесёт проект. На основании этих данных определена экономическая эффективность разработанной системы.

По результатам расчётов сделан вывод о том, что вложенные в систему средства будут возвращены инвестору в течении половины учебного семестра.

### 3. ОХРАНА ТРУДА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

### 3.1. Введение в часть охраны труда и окружающей среды

#### 3.1.1. Необходимость защиты труда в объекте дипломной работы

Дипломная работа посвящена анализу времени, которое затрачивает обучающийся при ответе на задачи в системе дистанционного обучения. Одно из достоинств электронной версии методических и учебных материалов состоит в том, что студент может проходить обучение как в домашней обстановке, так и на территории института (в компьютерном классе).

Как известно, на скорость студента при ответе влияет не только способность самого студента к обучению, но и факторы помещения, в котором проходит процесс обучения, - отсюда следует, что при проведении занятий на территории института необходимо обеспечить в помещениях, где проходит работа с системой дистанционного обучения, условия для продуктивной работы. Необходимо учесть вредные факторы, которые могут возникнуть у студентов в процессе работы и устранить эти факторы, а так же причину их возникновения

#### 3.1.2. Характеристики рабочего помещения

Рабочее помещение, в котором проводятся занятия, имеет следующие характеристики:

- *длина, м* : 10
- *ширина, м* : 15
- *площадь, м<sup>2</sup>* : 150
- *высота, м* : 5
- *рабочих мест, шт.* : 20
- *площадь на одного студента, м<sup>2</sup>.* : 7,5
- *объём на одного студента, м<sup>3</sup>.* : 37,5



### 3.1.3. Характеристики оборудования

Помещение, в котором проводятся занятия, оснащено персональными компьютерами в следующей комплектации:

- системный блок (основные комплектующие, производящие шумовое воздействие – вентилятор и жесткий диск)
- клавиатура
- мышь
- соединительные провода
- монитор

Каждое рабочее место оснащается одним персональным компьютером.

В таблице 3.1 приведён уровень шума и мощность для каждого комплектующего

Таблица 3.1. Мощность и уровень шума комплектующих

Комплектующее	Уровень шума(дБ)	Мощность оборудования(Вт)
Жесткий диск	35	10
Вентилятор	40	15
Клавиатура	0	0.75
Мышь	0	1
Соединительные провода	0	0.1
Монитор	15	25

## 3.2. Анализ условий труда

### 3.2.1. Санитарно-гигиенические факторы

#### 3.2.1.1. Микроклимат

Микроклимат - искусственно создаваемые условия микросреды в закрытых помещениях. Микроклимат необходимо поддерживать, для создания

комфортных условий работы - влажности, скорости движения воздуха, температуры, давления и т.д.

Для обеспечения нормального микроклимата применяются:

- кондиционирование
- вентилирование
- обогрев

Требования к микроклимату определяются ГОСТом 30494-96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» и ГОСТом 12.01.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Учебные аудитории согласно ГОСТу относятся к помещениям 2-ой категории.

Согласно классификации, приведённой в ГОСТ 12.01.005-88, работа с системой дистанционного обучения, относится к категории работ 1а – это лёгкие работы, т.е. работы, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением.

В таблице 3.2 приведены нормативные значения и фактические значения в помещении, где проходит работа с системой дистанционного обучения:

Таблица 3.2. Микроклимат

Период года		Температура воздуха °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с(не более)
Холодный	ГОСТ	22-24	40-60	0.1
	Факт	26	55	0.05
Тёплый	ГОСТ	23-25	40-60	0.1
	Факт	27	60	0.08

Таким образом, фактические условия микроклимата в помещении, где используется система дистанционного обучения, не соответствуют требованиям ГОСТ. 12.01.005-88, поэтому необходимо рассчитать параметры кондиционирования для устранения негативных факторов.

### 3.2.1.2. Освещение

Правильно спроектированное и рационально исполненное освещение помогает создать комфортные психофизиологические условия для длительной работы - поэтому освещённость является одним из важнейших факторов для комфортного протекания процесса обучения. Для улучшения видимости объектов освещение должно быть равномерным. Так же в поле зрения студента не должно быть резких переходов от света к тени. Большое количество глянцевых поверхностей по возможности нужно заменить матовыми, чтобы избежать блёсткости.

Нормы освещения в образовательных помещениях определяются СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий». В помещении используется совмещенный комбинированный тип освещения. Сравним фактические показатели со стандартом в таблице 3.3:

Таблица 3.3. Освещение

	Освещённость (лк)	
	всего	в т.ч. от общего
СанПиН	500	300
Факт	510	305

Показатели помещения соответствуют значениям СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 и в корректировке не нуждаются.

### 3.2.1.3. Электроопасность

Действие электрического тока на организм может быть разнообразным: ожоги, механические повреждения кожи, изменение биологических процессов организма.

Электротравмы подразделяются на общие и местные. Общая травма – это электрический удар. Приводит к судорогам, остановке дыхания, нарушению сердечной деятельности. К местным травмам относят ожоги (термические повреждения), металлизацию кожного покрова, механические повреждения тканей (разрыв тканей в результате электродинамического эффекта).

Для гигиенического нормирования электроопасности оборудования используется ГОСТ 12.1.038-82, «Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов», который устанавливает предельно допустимые токи, протекающие через тело человека во время прикосновения к электроустановкам. При работе с системой дистанционного обучения в системных блоках протекает переменный ток частотой 50 Гц. Для такого уровня тока при действии в течении 0.6 сек. ГОСТ 12.1.038-82 определяет предельно допустимый уровень напряжения в 125 В. При этом напряжение на корпусе системного блока составляет 100 В – таким образом, требования ГОСТ соблюдены.

### 3.2.1.4. Шум

Звук - это акустические колебания упругой среды. *Акустическими* называют колебания, которые может воспринять человек с нормальным слухом, т.е. колебания в диапазоне частот 16 Гц - 209 кГц. Звуковые колебания, распространяющиеся в пространстве, представляют собой акустическое поле.

*Шумом* называют совокупность акустических звуков различной интенсивности и частоты (см. [38]). Интенсивный шум на производстве является негативным фактором: шум способствует увеличению числа ошибок в процессе работы, так как приводит к снижению внимания. Так же шум негативно влияет на скорость принятия решений, затрудняет протекание аналитических процессов.

В биологическом отношении шум представляет собой стрессовый фактор, который может вызвать срыв приспособительных способностей организма, т.н. акустический стресс. Акустический стресс может приводить к разнообразным расстройствам, от расстройств центральной нервной системы до морфологических деструктивных изменений в органах и тканях. Степень негативного влияния шума зависит от продолжительности воздействия, уровня интенсивности шума, функционального состояния нервной системы человека и индивидуальной чувствительности конкретного человека в данном виду раздражителя (что очень важно - например, женский и детский организм более чувствительны к шуму). Высокая индивидуальная чувствительность к шуму может становиться причиной развития неврозов, других расстройств нервной системы, а так же быстрой утомляемости.

Шум оказывает сильное влияние различные аспекты функционирования

организма человека: угнетение ЦНС, нарушение дыхания, сбой пульса, может стать причиной нарушения обмена веществ, возникновению сердечно-сосудистых заболеваний, развитию различных профессиональных болезней.

Уровень звукового давления принято измерять в децибелах (дБ). Децибелл - относительная единица измерения звукового давления. Измерение уровня звука происходит по отношению к опорному давлению  $p_0 = 20$  мкПа, которое соответствует порогу слышимости синусоидальной звуковой волны частотой 1 кГц. Уровень звукового давления в децибеллах  $N$  для давления  $p$  вычисляется по формуле

$$N = 20 \log \frac{p}{p_0}$$

Особо выделяют следующие уровни шума:

- 30 ... 35 дБ : привычен для человека и не беспокоит его;
- 40 ... 70 дБ : возникает значительная нагрузка на нервную систему, ухудшение самочувствия;
- 70 ... 140 дБ : может привести к потере слуха;
- 140 ... 160 дБ : разрыв барабанных перепонки и контузия;
- выше 160 дБ : смерть.

Норму параметров шума на рабочих местах определяет ГОСТ 12.1.003-831 «Шум. Общие требования безопасности» с дополнениями 1989 г. Документ классифицирует шумы по спектру (широкополосные и тональные) и по временным характеристикам (постоянные и непостоянные). Для нормирования постоянных шумов используются допустимые уровни звукового давления (УЗДН) в девяти активных полосах частот, разделённых по видам производственной деятельности. В свою очередь непостоянные шумы делятся на три группы:

- колеблющиеся
- прерывистые
- импульсные

Сравним фактические данные с нормами ГОСТ 12.1.003-83 на рабочих местах, связанных с обучением. Для этого произведём расчёт фактического уровня шума согласно таблице пункта 3.1.2

Произведём расчёт звукового давления оборудования по каждому источнику:

$$\text{Жесткий диск: } p_1 = 10^{35/20} \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 0.01$$

$$\text{Вентилятор: } p_2 = 10^{40/20} \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 0.02$$

$$\text{Монитор: } p_3 = 10^{15/20} \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 0.001$$

С учётом проведённых расчётов, вычислим результирующий уровень шума:

$$\begin{aligned} N &= 20 \log \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{p_0} = 20 \log \left( \frac{0.01 + 0.02 + 0.001}{2 \cdot 10^{-4}} \right) = \\ &= 20 \log \frac{0.031}{2 \cdot 10^{-4}} = 44 \text{ дБ} \end{aligned}$$

Проверим полученный результат на соответствие ГОСТ (таблица 3.4):

Таблица 3.4. Шум

Деятельность:	Уровень шума (дБ)
обучение	
ГОСТ	50
Факт	44

Таким образом, фактический уровень шума соответствует нормативному.

### 3.2.1.5. Вибрация

Вибрации - это механические колебания, которые возникают и распространяются в упругих средах. Воздействие вибрации на человека разделяют по способу передачи колебаний (общая и локальная), по направлению действия (по оси  $x$ , по оси  $y$ , по оси  $z$ ) и по временным характеристикам (постоянная, непостоянная).

Между частотой воздействующей вибрации и реакциями организма нет линейной зависимости. Причина - в эффекте резонанса. Если внешняя частота

вибраций совпадает с собственными вибрация тела, воздействие становится крайне негативным.

Особенно сильное воздействие вибрация оказывает на зрение. Расстройство зрительного восприятия происходит при частотном диапазоне от 60 до 90 Гц. Патологии, связанные с вибрацией по количеству профессиональных заболеваний стоят на втором месте после пылевых патологий.

Так же при действии вибрации на организм страдает нервная система, вестибулярный и тактильный анализаторы. У людей, длительное время подвергающихся вибрации, отмечают головокружения, снижение остроты зрения.

Гигиеническое нормирование вибрации производится на основании ГОСТ 12.1.012-90 «Вибрационная безопасность. Общие требования» (воспользуемся эквивалентными скорректированными значениями, таблица 3.5).

Таблица 3.5. Вибрация

Среднегеом. частоты полос, Гц	Допустимые значения по осям $X_0, Y_0, Z_0$			
	виброускорения		виброскорости	
	$10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$	дБ	$10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$	дБ
СанПиН	10	80	0.28	75
Факт	9.8	77	0.25	70

Таким образом, значения вибрации соответствуют нормам ГОСТ.

### 3.2.1.6. Электромагнитные излучения

В зависимости от энергии фотонов выделяют ионизирующие и неионизирующие излучения. Среди неионизирующих в свою очередь выделяют электрические и магнитные поля.

Нормирование ЭМИ промышленной частоты производится путём установления допустимых уровней напряжённости электрического поля  $E(\text{кВ/м})$  и напряженности магнитного поля  $H(\text{А/м})$ .

Пребывание в электрическом поле напряжённостью до 5 кВ/м допускается в течении всего рабочего дня. Допустимое время (в часах) пребывания в ЭП напряжённостью 5...10 кВ/м вычисляется по формуле

$$T = \frac{50}{E} - 2,$$

где  $E$  - напряжённость воздействующего поля в контролируемой зоне, кВ/м.

Нормирование значение напряженности определяется СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях». Т.к. металлический корпус системного блока экранирует магнитные поля и прошел соответствующую сертификацию на стороне производителя, то нормы СанПиН выполняются.

### 3.2.2. Эргономика рабочего места

Требования к эргономике рабочего места закреплены в санитарно-эпидемиологических нормах СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». Рабочее место студента должно отвечать требованиям, обеспечивающим достаточную степень эргономичности. Для обеспечения этих требований должны выполняться определённые условия:

- оптимальное расположение оборудования;
- достаточный объём рабочего пространства.

Рабочее место студента, оснащённое персональным компьютером, имеет следующие параметры эргономики:

- высота рабочей поверхности должна регулироваться в пределах 680 — 850 мм, при отсутствии регулировки — 725мм
- размеры пространства для ног должны не должны вызывать дискомфорт
- кресло должно быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте
- поверхность рабочего стола не должна производить блики
- возможность регулировки элементов рабочего места

Удобная рабочая поза студента помогает избежать перенапряжения мышц и способствует улучшению кровотока и дыхания. При неудобной рабочей позе могут появиться боли в мышцах, суставах и сухожилиях. Так же среди программистов, проводящих большое количество времени на неэргономичном рабочем месте, развивается туннельный синдром запястья. Правильное положение в рабочем кресле включает в себя:



- прямую посадку
- опора - только на спинку кресла
- расслабленную позу без излишнего напряжения в поясничном отделе
- голова - немного наклонена (до 20 градусов)
- руки расслаблены, локти держать под углом 90 градусов, кисти рук - на уровне локтей или немного ниже
- колени должны быть на уровне бедер, стопы - на подставке

Соблюдение норм эргономики, описанных выше, позволит снизить вредное воздействие ЭВМ на пользователя персонального компьютера, повысить внимательность, снизить нагрузки на зрительные и слуховые рецепторы.

### **3.2.3. Психофизиологические факторы**

К психофизиологическим факторам относятся перегрузки (физические и эмоциональные), перенапряжение связанное с интеллектуальной работой и монотонностью труда. Психофизиологические факторы могут вызывать перенапряжение как в физическом, так и в интеллектуальном плане.

Оценка психофизиологических факторов проводится с помощью руководства Р2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда»

В руководстве Р2.2.2006-05 под пунктом 5.10. «Тяжесть и напряженность трудового процесса» с помощью Таблицы 18 «Классы условий труда по показателям» напряженности трудового процесса» определим класс физического труда».

Проведём анализ класса условий труда с использованием соответствующих таблиц руководства Р2.2.2006-05 (таблица 3.6):

Таблица 3.6: Анализ условий труда

Показатель	Значение	Класс условий труда
1.Интеллектуальные нагрузки:		
1.1. Содержание работы	Решение простых задач по инструкции	Допустимый
1.2.Распределение функций по степени сложности задания	Обработка, выполнение задания и его проверка	Допустимый
1.3.Характер выполняемой работы	Работа по установленному графику с возможной его коррекцией по ходу деятельности	Допустимый
2.Сенсорные нагрузки		
2.1.Длительность сосредоточенного наблюдения(%времени)	26-50	Допустимый
2.2.Наблюдение за экранами видеотерминалов (часов)	до 3	Допустимый
3.Эмоциональные нагрузки		
3.1.Степень ответственности за результат собственной деятельности. Значимость ошибки	Несет ответственность за функциональное качество выполнения заданий. Влечет за собой дополнительные усилия со стороны преподавателя	Допустимый
3.4.Количество конфликтных ситуаций (за занятие)	1-3	Допустимый
4. Монотонность нагрузок		
4.1. Число элементов (приемов), необходимых для реализации простого задания или в многократно повторяющихся операциях	более 10	Оптимальный
4.2. Продолжительность (в сек) выполнения простых заданий или повторяющихся операций	более 100	Оптимальный
4.3. Время активных действий (в % к продолжительности смены). В остальное время – наблюдение	19 - 10	Допустимый
Монотонность производственной обстановки (время пассивного наблюдения), %	76–80	Допустимый

Согласно таблицам, класс труда определяем как «Допустимый». Этот уровень соответствует напряжённости труда средней степени.

### 3.3. Расчёт

Согласно СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха», расход воздуха на одного человека в помещениях, находящихся в общественных зданиях без естественного проветривания составляет  $60 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Исходя из этой нормы, рассчитаем величину кондиционирования по формуле (СНиП 41-01-2003, Приложение М, формула И.1), используя величину избытков явной теплоты:

$$L = L_{w,z} + \frac{3.6Q - cL_{w,z}(t_{w,z} - t_{in})}{c(t_l - t_{in})},$$

где

$L_{w,z}$  - расход воздуха, удаляемого из обслуживаемой или рабочей зоны помещения системами местных отсосов, и на технологические нужды,  $\text{м}^3/\text{ч}$

$Q$  - избыточный явный тепловой поток в помещении, ассимилируемый воздухом центральных систем вентиляции и кондиционирования, Вт

$t_{w,z}$  - температура воздуха, удаляемого системами местных отсосов в обслуживаемой или рабочей зоне помещения, и на технологические нужды,  $^{\circ}\text{C}$

$t_{in}$  - температура воздуха, подаваемого в помещение  $^{\circ}\text{C}$

$t_l$  - температура воздуха, удаляемого из помещения за пределами обслуживаемой или рабочей зоны,  $^{\circ}\text{C}$

$c$  - теплоемкость воздуха, равная  $1,006 \text{ кДж}/(\text{кгC})$

Произведём расчёт избыточного теплового потока  $Q$ . Избыточный тепловой поток определяется по формуле

$$Q = Q_{ob} + Q_l + Q_{os} + Q_{ok},$$

где

$Q_{ob}$  - теплота, выделяемая оборудованием. В соответствии с характеристиками оборудования из пункта 3.1.3 «Характеристики оборудования», получаем.

$$Q_{ob} = P_{ob} \cdot f = (10 + 15 + 0.75 + 0.1 + 0.25) \cdot 0.25 = 13 \text{ Вт},$$

где

$P_{ob}$  - номинальная мощность оборудования (Вт),  $f = 0.25$  - коэффициент

передачи

$Q_l$  - теплота, выделяемая людьми в помещении. При этом  $Q_l = 50 \cdot \frac{1000}{860} = 58$  Вт, т.к. один человек выделяет 50 ккал/час

$Q_{os}$  - теплота, выделяемая системой освещения

$$Q_{os} = P_{os} \cdot a \cdot b \cdot \cos(f) = 20 \cdot 4 \cdot 0.46 \cdot 1 \cdot 0.3 = 11 \text{ Вт},$$

где

$a = 0.46$  - коэффициент перехода электрической энергии в световую

$b = 1$  - коэффициент одновременной работы ламп

$\cos(f) = 0.3$  - коэффициент мощности

$P_{os} = 20$  Вт - номинальная мощность освещения одной лампы освещения (всего таких ламп 4 шт.)

$Q_{ok}$  - теплота, выделяемая ограждающими конструкциями

$$Q_{ok} = F \cdot q_{ok} = 18 \cdot 11 \cdot \frac{1000}{860} = 230 \text{ Вт},$$

где

$F = 18 \text{ м}^2$  - площадь ограждающей конструкции, излучающей тепло

$q_{ok} = 11 \text{ ккал/м}^2$  - теплота, которую излучает  $1 \text{ м}^2$  ограждающей конструкции.

Таким образом, получаем избыточный тепловой поток

$$Q = Q_{ob} + Q_l + Q_{os} + Q_{ok} = 13 + 58 + 11 + 230 = 312 \text{ Вт}$$

Рассчитаем требуемую величину кондиционирования:

$$L = L_{w,z} + \frac{3.6Q - cL_{w,z}(t_{w,z} - t_{in})}{c(t_l - t_{in})} = 2 + \frac{3.6 \cdot 312 \cdot 3600 - 1006 \cdot 2 \cdot (22 - 19)}{1006(24 - 19)} = 804$$

Согласно произведённым расчётам и ГОСТ 26963—86 «Кондиционеры бытовые автономные. Общие технические условия», необходимо выбрать следующий кондиционер: тип КБ1 и климатическое исполнение УЗ, обозначение климатического исполнения по ГОСТ 15150-69 «Исполнение для различных климатических районов».

### 3.4. Вывод

Был проведён анализ помещения, которое используется для обучения студентов с применением СДО. По результатам произведённых расчётов был сделан вывод о том, что помещение отвечает всем условиям безопасности труда, кроме параметров микроклимата. После проведения расчётов параметров системы кондиционирования был предложен кондиционер, подходящий для данных условий и поддержания требуемых параметров микроклимата.

Согласно произведённым расчётам, рекомендуется выбрать кондиционер КБ1 УЗ - тогда параметры микроклимата в помещении будут соответствовать принятым нормам.

## Заключение

Задачи, сформулированные в разделе «Введение» выполнены: построена математическая модель времени ответа в системе дистанционного обучения, на основании модели была решена задача прогнозирования времени ответа студента. По результатам прогноза описан алгоритм выявления отклонений при ответе на задачи с целью определить случаи, когда студент имеет готовые ответы на одну или несколько задач теста.

В основной части работы математическая модель получила программную реализацию и была применена данным системы дистанционного обучения МАИ CLASS.NET. Реализована программная библиотека для обработки статистической информации, основанная на описанной математической модели. Проведена проверка соответствия математической модели и реальных данных.

В экономической части проведён анализ инвестиционной привлекательности проекта на основании его себестоимости и ожидаемого экономического эффекта. Был сделан вывод о сроке окупаемости системы и её инвестиционной эффективности.

В части, посвященной охране труда и окружающей среды, рассматривается компьютерный класс с рабочими местами для студентов и анализируются условия работы студентов. Приводятся замечания по улучшению условий труда обучающихся.

Прогнозирование времени ответа студента является важной частью адаптивного компьютерного тестирования. Полученные результаты (математическая модель и программная реализация) могут быть применены не только к выявлению случаев мошенничества при прохождении тестирования, но и в ряде других задач: прогнозирование времени, которое понадобится студенту для прохождения теста, оценка вероятности выполнения теста в срок и другие. В дипломе приводится формулировка задачи стохастического программи-

рования, которая предоставляет метод формирования индивидуальных заданий в условиях ограниченных по времени тестов. Для задачи приведён детерминированный эквивалент, при решении которого можно применить известные методы линейного программирования (например, метод ветвей и границ).

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Интернет-портал дистанционного образования МГУ: [Электронный ресурс] // Управление развития, перспективных проектов и непрерывного образования МГУ, 2014 г. Режим доступа свободный: <http://www.distance.msu.ru/>
2. Центр дистанционного обучения Московского института лингвистики: [Электронный ресурс] // Московский институт лингвистики, 2014 г. Режим доступа свободный: <http://www.inyaz-mil.ru/courses/formi-obucheniya/tsentr-distantcionnogo-obucheniya-mil>
3. Центр онлайн-обучения в МЭСИ: [Электронный ресурс] // Московский государственный университет экономики, статистики и информатики, 2014 г. Режим доступа свободный: <http://mesi.ru/education/higher/zaochnoe-on-lin/>
4. Сборник онлайн курсов edX: [Электронный ресурс] // edX, 2014 г. Режим доступа свободный: <https://www.edx.org/>
5. Образовательная организация Coursera: [Электронный ресурс] // Coursera. 2014 г, Режим доступа свободный: <https://www.coursera.org/>
6. Межвузовская площадка электронного образования Универсариум: [Электронный ресурс] // Универсариум, 2014 г. Режим доступа свободный: <http://universarium.org/>
7. Wim J. van der Linden, *Using Response Times for Item Selection in Adaptive Testing* // *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 2008, Vol. 33. No. 7, pp. 5-20



8. Наумов А.В., Иноземцев А.О., *Алгоритм формирования индивидуальных заданий в системах дистанционного обучения.* // *Вестник компьютерных и информационных технологий*, 2013, №6, сс. 46-51
9. Иноземцев А.О., Кибзун А.И., *Оценивание уровней сложности тестов на основе метода максимального правдоподобия.* // *Автоматика и телемеханика*, 2014, №4 (принята к публикации) .
10. Кибзун А.И. Панарин С.И., *Формирование интегрального рейтинга с помощью статистической обработки результатов тестов.* // *Автоматика и Телемеханика*, 2012, № 6, сс. 119-139.
11. Woodbury M. A., *On the standard length of a test* // *Psychometrika*, 1951, № 16, сс. 103–106
12. Woodbury M. A., *The stochastic model of mental test theory and an application*, 1963, № 28, сс. 391–393
13. Lord, F. M., Novick, M. R., *Statistical theories of mental test scores* // *Addison Wesley*, 1968
14. Gulliksen H., *Theory of mental tests*. New York: Wiley, 1950
15. Thurstone L. L. *Ability, motivation, and speed*. *Psychometrika*, 1937, № 2, сс. 249–254
16. Steven L. Wise and Lingling Ma *Setting Response Time Thresholds for a CAT Item Pool: The Normative Threshold Method* // *National Council on Measurement in Education, Vancouver, Canada*
17. Gaviria, J.-L., *Increase in precision when estimating parameters in computer assisted testing using response times* // *Quality & Quantity*, 2005, № 39, сс. 45–69
18. Wise, S. L., Kong, X., *Response time effort: A new measure of examinee motivation in computer-based tests*// *Applied Measurement in Education*, 2005, № 18, сс. 163-183
19. Wang T., Hanson B.A. , *Development and Calibration of an Item Response Model that Incorporates Response Time*// *American Educational Research Association* 2001

20. Wim J. van der Linden, *Conceptual Issues in Response-Time Modeling*
21. Roskam, E. E., *Toward a psychometric theory of intelligence // Progress in mathematical psychology*, 1987, cc. 151–171
22. Rasch G., *Probabilistic models for some intelligence and attainment tests // Chicago: University of Chicago Press*, 1960
23. Wim J. van der Linden, *Some New Developments in Adaptive Testing Technology // Journal of Psychology*, 2008, Vol. 216(1), pp. 3–11
24. Wim J. van der Linden, *Predictive Control of Speededness in Adaptive Testing // Law School Admission Council Computerized Testing Report*, 2007
25. Rasch G. *Probabilistic models for some intelligence and attainment tests // The University of Chicago Press*, 1980.
26. Thissen D., *Timed testing: An approach using item response theory // New York: Academic Press*. 1983
27. Rob R. Meijer, Leonardo S. Sotaridona, *Detection of Advance Item Knowledge Using Response Times in Computer Adaptive Testing // Law School Admission Council Computerized Testing Report*, 2006
28. Wim J. van der Linden, David J. Scrams, Deborah L. Schnipke, *Using Response-Time Constraints to Control for Differential Speededness in Computerized Adaptive Testing // Applied Psychological Measurement*, 1999, Vol. 23 No. 3, pp. 195–210
29. Кибзун А.И., Наумов А.В., Горяинова Е.Р., *Теория вероятностей и математическая статистика. Базовый курс с примерами и задачами // Под ред. Кибзуна А.И. - М.: ФИЗМАТЛИТ*, 2007, 234 стр.
30. Wim J. van der Linden, *A Lognormal Model for Response Times on Test Items // Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 2006, Vol. 31, No. 2, pp. 181–204
31. Wim J. van der Linden, Edith M.L.A. Van Krimpen-Stoop, *Using Response Times to Detect Aberrant Responses in Computerized Adaptive Testing // Psychometrika*, 2003, Vol. 68, No. 2, pp. 251–265

32. Юдин Д.Б., *Математические методы управления в условиях неполной информации* // Советское радио, 1974, 400 с
33. D'Agostino R.B., Pearson E. S., *Testing for departures from normality* // *Biometrika*, 1973, No 60, pp. 613-622
34. D'Agostino R.B., *An omnibus test of normality for moderate and large sample size* // *Biometrika*, 1971, No 58, pp. 341-348
35. Кобзарь А.И., *Прикладная математическая статистика*
36. информационно-аналитический ресурс, посвященный машинному обучению: [Электронный ресурс] // *MachineLearning.ru*, 2014 г. Режим доступа свободный: <http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php>
37. Wim J. van der Linden, *Modeling response times with latent variables: Principles and applications* // *Psychological Test and Assessment Modeling*, 2011, Vol. 53, pp. 334-358
38. С.В. Белов, В.А. Девисилов, А.В, Ильницкая и др., *Безопасность жизнедеятельность* // М.: Высш. шк., 2007