**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Санкт-Петербургский государственный УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, механики и оптики

Факультет \_\_\_\_\_\_\_\_Компьютерных Технологий и Управления\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_\_Информатики и прикладной математики\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Группа 3125

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

**по дисциплине «Моделирование»**

на тему «Исследование систем массового обслуживания»

Автор(ы) Припадчев А., Логунов И.

(Фамилия, И.О.)

Руководитель Муравьева-Витковская Л.А., к.т.н., доц.

(Фамилия, И.О., ученое звание, степень)

Курсовая работа выполнена с оценкой \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Дата защиты “\_\_\_\_”\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_20\_\_\_г.

Санкт-Петербург, 2014 г.

**Оглавление**

[**Введение** 3](#_Toc406498293)

[Аннотация 3](#_Toc406498294)

[Цель работы 3](#_Toc406498295)

[**Описание объекта моделирования** 4](#_Toc406498296)

[Входные данные для моделирования 5](#_Toc406498297)

[**Общая схема модели** 6](#_Toc406498298)

[**Модель в AnyLogic** 7](#_Toc406498299)

[**Результаты моделирования в AnyLogic** 8](#_Toc406498300)

[**Модель GPSS World** 10](#_Toc406498301)

[**Результаты моделирования в GPSSWorld** 11](#_Toc406498302)

[**Расчет доверительных интервалов** 12](#_Toc406498303)

[**Выводы** 13](#_Toc406498304)

[**Литература** 14](#_Toc406498305)

# Введение

**«Разработка и исследование моделей массового обслуживания. Объект исследования – аэропорт»**

**Припадчев Артём, Логунов Илья**

*Факультет компьютерных технологий и управления, кафедра информатики и прикладной математики. Третий курс. Гр.3125. 2014 год.*

**Муравьева-Витковская Л.А.**

## *Аннотация*

1. Представлена разработка аналитических численных и имитационных моделей.
2. Создана и описана модель аэропорта для моделирования его характеристик. Проведено моделирование системы в AnyLogic и GPSS World.
3. Получены загрузки и длины очередей приборов при разном времени задержки на входе.
4. Наблюдали, что с увеличением времени задержки на входе, увеличиваются длины очередей. Найдено критическое значение.
5. На основе моделирования системы было выявлено узкое место – пункт досмотра пассажиров бизнес и эконом классов, и в дальнейшем – пункт регистрации тех же пассажиров.
6. Рассчитаны доверительные интервалы для тех же характеристик.

## Цель работы

Комплексное исследование характеристик функционирования *СМО с неоднородным потоком заявок* с использованием *методов аналитического, численного и имитационного моделирования* и изучение свойств и закономерностей, присущих процессам, протекающим в них.

Комплексная учебно-исследовательская работа выполняется в рамках курсового проектирования и включает в себя разработку и подготовку моделей и исходных данных, необходимых для выполнения расчетов и экспериментов с использованием специальных программных средств моделирования, а также обработку и оформление результатов модельных экспериментов.

# **Описание объекта моделирования**

В качестве объекта моделирования данной работы выбрана система обслуживания аэропорта. Поток заявок неоднородный, каждый транзакт представляет собой пассажира. Используются три класса заявок: пассажиры первого класса (П=3), пассажиры бизнес класса (П=2), пассажиры эконом класса (П=1).

Модель аэропорта включает в себя 6 узлов:

1. Вход для пассажиров первого класса
2. Вход для пассажиров эконом и бизнес класса
3. Столы регистрации для первого класса
4. Столы регистрации для эконом класса
5. Столы регистрации для бизнес класса
6. Терминал посадки для всех пассажиров

В процессе выполнения работы были приняты следующие допущения и использованы следующие предположения:

1. Равенство количества прибывающих и убывающих пассажиров.
2. На протяжении всего расчетного периода интенсивность прибытия, посадки в самолеты, обслуживания пассажиров равномерна.
3. Емкость всех очередей в системе бесконечна.
4. Отношение количества пассажиров Эконом:Бизнес:Первый – 20:4:1
5. Осмотр одного пассажира первого класса – 9 секунд; эконом и бизнес класса – 18 секунд.
6. Для пассажиров первого класса 2 пункта досмотра, для пассажиров эконом и бизнес класса – 4.
7. Среднее время регистрации пассажира первого класса – 2 минуты, эконом и бизнес класса – 4.
8. Для эконом класса 32 стола регистрации.
9. Для бизнес класса 10 столов регистрации.
10. Для первого класса 3 стола регистрации.
11. При наличии свободных столов регистрации бизнес класса, их могут занять пассажиры эконом класса.
12. Среднее время посадки в самолет для всех пассажиров – 5 секунд.
13. Интервалы времени между новыми заявками и время обслуживания распределены по экспоненциальному закону.
14. На всех узлах отказ возможен с вероятностью 0.03.
15. Повторный досмотр на входе с вероятностью 0.2.

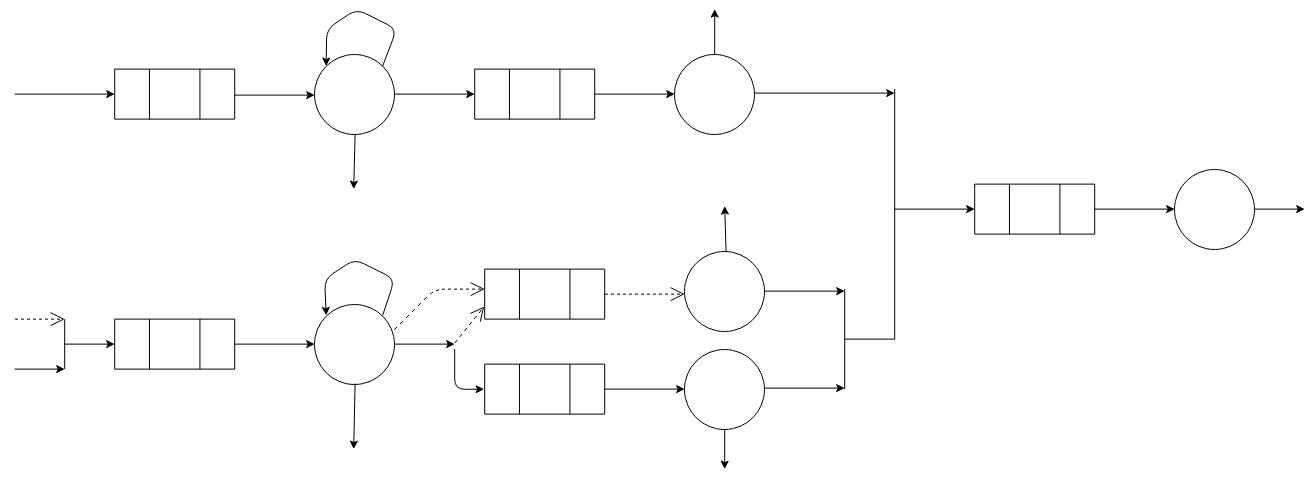
Время моделирования – 1 сутки.

Временные интервалы выбраны с расчетом, что в 2013 году пассажирооборот аэропорта Пулково составил 12 854 336 человек.

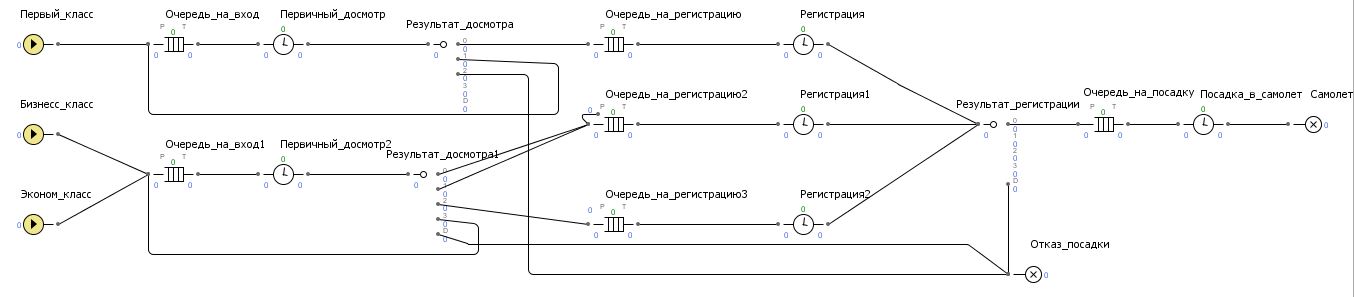
## Входные данные для моделирования

* Вероятность успешного прохождения досмотра – 0.77
* Вероятность повторного досмотра – 0.2
* Вероятность отказа в дальнейшем обслуживании – 0.03
* Средний интервал между появлением пассажиров первого класса – 140 с
* Средний интервал между появлением пассажиров бизнес класса – 29 с
* Средний интервал между появлением пассажиров эконом класса – 7.3 с
* Среднее время обслуживания первого класса на входе – 4.5 с
* Среднее время обслуживания бизнес и эконом класса на входе – 4.5 с
* Среднее время обслуживания первого класса на регистрации – 40 с
* Среднее время обслуживания бизнес класса на регистрации – 25 с
* Среднее время обслуживания эконом класса на регистрации – 7.5 с
* Среднее время посадки в самолет для одного пассажира – 5 с

# **Общая схема модели**



# **Модель в AnyLogic**



## **Результаты моделирования в AnyLogic**

В ходе анализа системы было найдено «узкое место» системы: досмотр на входе пассажиров эконом и бизнес класса. С учетом высокой нагрузки на этот узел значения времени обслуживания на входе были выбраны равными 5, 4.5, и 4 с.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Загрузка приборов** | | | | | | |
| Время задержки на входе | Вход (эконом,  бизнес) | Регистрация  (Бизнес) | Регистрация  (Эконом) | Вход  (Первый) | Регистрация  (Первый) | Посадка |
| 5 | 1,000 | 0,987 | 0,890 | 0,036 | 0,243 | 0,775 |
| 4.5 | 0,960 | 0,990 | 0,930 | 0,038 | 0,258 | 0,840 |
| 4 | 0,858 | 0,991 | 0,942 | 0,038 | 0,275 | 0,818 |
| **Длина очереди** | | | | | | |
| Время задержки на входе | Вход (эконом,  бизнес) | Регистрация  (Бизнес) | Регистрация  (Эконом) | Вход  (Первый) | Регистрация  (Первый) | Посадка |
| 5 | 457,800 | 3,500 | 6,300 | 0,002 | 0.010 | 2.540 |
| 4.5 | 23,690 | 6,100 | 14,270 | 0,000 | 0,006 | 4,470 |
| 4 | 5,738 | 5,400 | 13,600 | 0,000 | 0,112 | 3,700 |

|  |  |
| --- | --- |
| **Время задержки на входе: 4 с** | |
| Загрузка | Длина очереди |

|  |  |
| --- | --- |
| **Время задержки на входе: 4.5 с** | |
| Загрузка | Длина очереди |
| **Время задержки на входе: 5 с** | |
| Загрузка | Длина очереди |

# **Модель GPSS World**

GENERATE (Exponential(1,0,147)),,,,3

FC\_IN\_QUEUE QUEUE fc\_q\_in

SEIZE fc\_gates

DEPART fc\_q\_in

ADVANCE (Exponential(2,0,4.5))

RELEASE fc\_gates

TRANSFER 0.03,,FC\_GATES\_EXIT

TRANSFER 0.2062,,FC\_IN\_QUEUE

QUEUE fc\_q\_reg

SEIZE fc\_reg

DEPART fc\_q\_reg

ADVANCE (Exponential(3,0,40))

RELEASE fc\_reg

TRANSFER 30,,FC\_REG\_EXIT

QUEUE cmn\_q\_seat

SEIZE cmn\_seat

DEPART cmn\_q\_seat

ADVANCE (Exponential(4,0,5))

RELEASE cmn\_seat

TERMINATE

FC\_GATES\_EXIT TERMINATE

FC\_REG\_EXIT TERMINATE

; БИЗНЕССКЛАСС

GENERATE (Exponential(5,0,29)),,,,2

BC\_IN\_QUEUE QUEUE cmn\_q\_in

SEIZE cmn\_gates

DEPART cmn\_q\_in

ADVANCE (Exponential(6,0,5))

RELEASE cmn\_gates

TRANSFER 0.03,,BC\_GATES\_EXIT

TRANSFER 0.2062,,BC\_IN\_QUEUE

QUEUE bc\_q\_reg

SEIZE bc\_reg

DEPART bc\_q\_reg

ADVANCE (Exponential(7,0,25))

RELEASE bc\_reg

TRANSFER 30,,BC\_REG\_EXIT

QUEUE cmn\_q\_seat

PREEMPT cmn\_seat,PR

DEPART cmn\_q\_seat

ADVANCE (Exponential(8,0,5))

RETURN cmn\_seat

TERMINATE

BC\_GATES\_EXIT TERMINATE

BC\_REG\_EXIT TERMINATE

; ЭКОНОМКЛАСС

GENERATE (Exponential(9,0,7.3)),,,,1

EC\_IN\_QUEUE QUEUE cmn\_q\_in

SEIZE cmn\_gates

DEPART cmn\_q\_in

ADVANCE (Exponential(10,0,4.5))

RELEASE cmn\_gates

TRANSFER 0.03,,CMN\_GATES\_EXIT

TRANSFER 0.2062,,EC\_IN\_QUEUE

TEST E Q$bc\_q\_reg,0,EC\_REG\_QUEUE

QUEUE bc\_q\_reg

SEIZE bc\_reg

DEPART bc\_q\_reg

ADVANCE (Exponential(11,0,7.5))

RELEASE bc\_reg

TRANSFER ,EC\_SEAT\_Q

EC\_REG\_QUEUE QUEUE cmn\_q\_reg

SEIZE cmn\_reg

DEPART cmn\_q\_reg

ADVANCE (Exponential(12,0,7.5))

RELEASE cmn\_reg

TRANSFER 30,,CMN\_REG\_EXIT

EC\_SEAT\_Q QUEUE cmn\_q\_seat

SEIZE cmn\_seat

DEPART cmn\_q\_seat

ADVANCE (Exponential(13,0,5))

RELEASE cmn\_seat

TERMINATE

CMN\_GATES\_EXIT TERMINATE

CMN\_REG\_EXIT TERMINATE

GENERATE 86400

TERMINATE 1

START 1

## **Результаты моделирования в GPSSWorld**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Загрузка приборов** | | | | | | | | | | | | |
| Время задержки на входе | | Вход (эконом,  бизнес) | Регистрация  (Бизнес) | | Регистрация  (Эконом) | | Вход  (Первый) | | Регистрация  (Первый) | | Посадка | |
| 5 | | 1.000  0.999  1.000  **0.999** | 0.945  0.947  0.947  **0.946** | | 0.791  0.786  0.773  **0.783** | | 0.042  0.041  0.044  **0.042** | | 0.246  0.265  0.260  **0.257** | | 0.777  0.774  0.766  **0.776** | |
| 4.5 | | 0.994  0.991  0.995  **0.993** | 0.950  0.951  0.953  **0.951** | | 0.880  0.872  0.868  **0.873** | | 0.038  0.036  0.039  **0.038** | | 0.236  0.269  0.253  **0.253** | | 0.833  0.831  0.826  **0.830** | |
| 4 | | 0.861  0.854  0.863  **0.859** | 0.949  0.950  0.950  **0.950** | | 0.882  0.873  0.868  **0.874** | | 0.034  0.034  0.036  **0.035** | | 0.242  0.265  0.259  **0.255** | | 0.837  0.830  0.828  **0.832** | |
| **Длина очереди** | | | | | | | | | | | | |
| Время задержки на входе | Вход (эконом,  бизнес) | | | Регистрация  (Бизнес) | | Регистрация  (Эконом) | | Вход  (Первый) | | Регистрация  (Первый) | | Посадка |
| 5 | 567.206  547.258  579.244  **564.569** | | | 4.916  4.155  5.408  **4.826** | | 5.011  4.543  4.392  **4.649** | | 0.001  0.002  0.002  **0.002** | | 0.078  0.106  0.077  **0.087** | | 3.131  2.647  2.875  **2.884** |
| 4.5 | 51.950  35.801  38.245  **41.999** | | | 5.289  4.266  5.765  **5.107** | | 12.661  10.171  7.566  **10.133** | | 0.001  0.001  0.001  **0.001** | | 0.053  0.117  0.082  **0.084** | | 5.322  4.104  4.450  **4.625** |
| 4 | 5.029  5.228  5.087  **5.115** | | | 5.016  4.326  5.432  **4.95** | | 13.018  8.989  9.289  **10.432** | | 0.002  0.001  0.001  **0.001** | | 0.105  0.093  0.079  **0.092** | | 4.379  4.354  4.839  **4.524** |
| **Среднее время ожидания** | | | | | | | | | | | | |
| Время задержки на входе | Вход (эконом,  бизнес) | | | Регистрация  (Бизнес) | | Регистрация  (Эконом) | | Вход  (Первый) | | Регистрация  (Первый) | | Посадка |
| 5 | 2681.766  2597.971  2761.651  **2680.463** | | | 100.124  86.749  114.268  **100.380** | | 48.438  43.617  42.642  **44.899** | | 0.142  0.233  0.174  **0.183** | | 12.290  16.634  11.258  **13.394** | | 20.295  17.125  18.786  **18.744** |
| 4.5 | 242.228  166.904  179.702  **196.278** | | | 106.846  88.317  121.099  **105.421** | | 110.197  87.781  65.386  **87.788** | | 0.173  0.137  0.137  **0.149** | | 8.656  18.187  12.339  **13.061** | | 32.080  24.704  26.944  **27.909** |
| 4 | 23.632  24.621  23.976  **24.076** | | | 99.900  89.875  113.813  **101.196** | | 112.962  77.458  80.292  **90.237** | | 0.232  0.153  0.115  **0.167** | | 16.752  14.550  11.599  **14.300** | | 26.269  26.253  29.250  **27.257** |

## **Расчет доверительных интервалов**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Доверительный интервал для загрузки приборов** | | | | | | | | | | | | |
| Время задержки на входе | | Вход (эконом,  бизнес) | Регистрация  (Бизнес) | | Регистрация  (Эконом) | | Вход  (Первый) | | Регистрация  (Первый) | | Посадка | |
| 5 | | 0.002 | 0.003 | | 0.024 | | 0.004 | | 0.025 | | 0.015 | |
| 4.5 | | 0.006 | 0.004 | | 0.016 | | 0.004 | | 0.041 | | 0.009 | |
| 4 | | 0.012 | 0.002 | | 0.018 | | 0.003 | | 0.03 | | 0.012 | |
| **Доверительный интервал для длины очереди** | | | | | | | | | | | | |
| Время задержки на входе | Вход (эконом,  бизнес) | | | Регистрация  (Бизнес) | | Регистрация  (Эконом) | | Вход  (Первый) | | Регистрация  (Первый) | | Посадка |
| 5 | 40.132 | | | 1.569 | | 0.802 | | 0.002 | | 0.041 | | 0.602 |
| 4.5 | 21.623 | | | 1.903 | | 6.329 | | 0.001 | | 0.08 | | 0.334 |
| 4 | 0.255 | | | 1.388 | | 5.576 | | 0.002 | | 0.033 | | 3.504 |
| **Доверительный интервал для среднего времени ожидания** | | | | | | | | | | | | |
| Время задержки на входе | Вход (эконом,  бизнес) | | | Регистрация  (Бизнес) | | Регистрация  (Эконом) | | Вход  (Первый) | | Регистрация  (Первый) | | Посадка |
| 5 | 203.322 | | | 34.185 | | 7.71 | | 0.115 | | 7.088 | | 3.939 |
| 4.5 | 100.124 | | | 40.833 | | 55.659 | | 0.052 | | 11.94 | | 9.394 |
| 4 | 1.248 | | | 29.864 | | 49.015 | | 0.149 | | 6.423 | | 4.287 |

# **Выводы**

Результаты моделирования системы в разных программных продуктах показали хоть и различные, но близкие друг к другу с учетом доверительного интервала результаты. Различия в значениях наиболее вероятно обусловлены особенностями генерации случайных чисел каждой из программ.

По результатам моделирования видно, что загрузка узлов обслуживания первого класса относительно мала, т.к. пассажиры этого класса поступают с большим временным интервалом. Это значит, что на этой линии можно уменьшить количество обслуживающих приборов (пунктов досмотра, столов регистрации).

Среднее время обслуживания на входе, равное 4.5с можно назвать критическим, т.к. с его увеличением наблюдается постоянное наращивание очереди. Для уменьшения длины очереди необходимо это время уменьшить. Т.к. уменьшить время досмотра одного пассажира невозможно, то необходимо добиваться снижения среднего времени обслуживания за счет усовершенствования оборудования и количества пунктов досмотра.

После решения проблемы, описанной в пункте выше, такая же ситуация повторяется и на пункте регистрации пассажиров эконом класса. Поэтому для этого узла нужно применить те же действия.

В остальном наиболее вероятно, что даже при больших количествах пассажиров система будет вести себя стабильно и иметь малые длины очередей на всех узлах.

# **Литература**

1. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. Учебное пособие. - СПб.:СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.

2. Конспект лекций по дисциплине "Моделирование".

3. Электронные учебно-методические материалы по дисциплине «Моделирование», представленные на портале кафедры ВТ ([www.cis.ifmo.ru](http://www.cis.ifmo.ru)).

4. Справочник среды имитационного моделирования GPSS World

**Санкт-Петербургский государственный университет**

**информационных технологий, механики и оптики**

**Факультет** \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Компьютерных Технологий и Управления\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Кафедра**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Информатики и прикладной математики\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Группа**\_\_\_\_3125\_\_\_

**УТВЕРЖДАЮ**

Зав.кафедрой \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_200\_\_ г.

**З А Д А Н И Е**

**НА КУРСОВУЮ РАБОТУ**

**Студентам** \_\_\_\_\_\_Припадчеву Артёму, Логунову Илье\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(Фамилия, И.О.)

**Руководитель** \_\_\_\_\_\_\_Муравьева-Витковская Людмила Александровна, доцент\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

( Фамилия, И., О., место работы, должность )

**1. Наименование темы:** «Разработка и исследование сетей массового обслуживания»

**2. Срок сдачи студентом законченной работы** \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**3. Техническое задание и исходные данные к работе:**

Объектом моделирования является система обслуживания аэропорта, поток заявок неоднородный, каждый транзакт представляет собой модель клиента аэропорта. Используются три класса заявок: пассажиры первого класса (П=3), пассажиры бизнес класса (П=2), пассажиры эконом класса (П=1).

**4. Содержание выпускной работы (перечень подлежащих разработке вопросов):**

1) Описание системы обслуживания

2) Постановка задачи исследования и исходные данные

3) Результаты исследования системы с использованием ПО AnyLogic

4) Результаты исследования системы с использованием ПО GPSSWorld

5) Анализ результатов

6) Выводы

**5. Исходные материалы и пособия:**

1. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. Учебное пособие. - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.

2. Конспект лекций по дисциплине "Моделирование".

3. Электронные учебно-методические материалы по дисциплине «Моделирование», представленные на портале кафедры ВТ ([www.cis.ifmo.ru](http://www.cis.ifmo.ru/)).

**7. Дата выдачи задания**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Руководитель\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(подпись)

Задание принял к исполнению\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(подпись)