



РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТРАНСПОРТА (МИИТ)

Одобрено кафедрой  
«ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»

Протокол №            от            20    г.

Автор(ы):  
к.т.н., доцент Климова Д.В.

**Контрольная работа**

**ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**Моделирование процессов в техносфере**

---

Уровень ВО:        Бакалавриат

Форма обучения: Заочная

Курс: 4

Специальность/Направление: 20.03.01 Техносферная безопасность (ТБб)

Специализация/Профиль/Магистерская программа: Безопасность  
жизнедеятельности в техносфере (ББ)

Москва

## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Целью освоения учебной дисциплины «Моделирование процессов в технофере» является изучение методологии системного мышления и комплексного рассмотрения сложных проблем, приобретение знаний и навыков многоаспектного моделирования, приобретение знаний в области моделирования реальных процессов и явлений, лежащих в основе обеспечения безопасности технических систем, приобретение навыков использования полученных знаний в практической работе, формирование у студентов компетенций. Любое современное явление как биосферной, так и техносферной природы может быть воспроизведено посредством моделирования. Приобретение знаний и навыков многоаспектного моделирования также является целью данной дисциплины.

Задачи дисциплины:

- Изучение типовых приемов для моделирования различных процессов и явлений.
- Изучение основных принципов математического моделирования.
- Получение теоретических знаний в области построения и использования математических моделей различных типов.
- Изучение приемов построения зависимостей, используемых в прикладных моделях реальных процессов и явлений, приемов прогнозирования.
- Получение практических навыков по построению и анализу зависимостей.
- Подготовку к научно-исследовательской и производственно-технологической работе в профессиональной области, связанной с использованием методов математического моделирования для прогнозирования поведения технических систем и оценки устойчивости объектов, а также развития опасностей с целью их прогнозирования, моделирования последствий и управления ими;
- Подготовку к поиску и анализу профильной научно-технической информации, необходимой для построения математических моделей типовых

задач и разработки программных средств по моделированию процессов в технических системах;

– Подготовку к решению конкретных инженерных задач, связанных с математическим моделированием процессов в технических системах, в том числе при выполнении междисциплинарных проектов.

## **ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Номера задач выбираются по предпоследней и последней цифрам учебного шифра, либо их сумме. Если сумма цифр получилась менее 10, по получившимся цифрам определяют номер варианта. Например, шифр 1065-пТБ-1231, сумма последней и предпоследней цифр шифра определяется как:  $3+1=4$ . Номер варианта - 4. Если сумма цифр получилась равной 10, то выбирается вариант 10. Если сумма цифр получилась более 10, то получившиеся цифры еще раз складываются. Например, шифр 1065-пТБ-1238, сумма последней и предпоследней цифр шифра определяется как:  $3+8=11$ , далее еще раз складываем:  $1+1=2$  – вариант 2. Методические указания рекомендуется тщательно проработать до выполнения своего индивидуального задания.

Работа выполняется в машинописной форме на листах бумаги формата А4. Контрольная работа должна быть написана четко, разборчиво, с обязательным использованием поясняющих схем и расчетных формул тех показателей, формулировки которых приведены в работе. На каждой странице оставить справа поля для замечаний преподавателя. Пронумеровать страницы, создать автоматически оглавление на второй странице курсовой работы. Каждое последующее задание должно начинаться с новой страницы. В конце контрольной работы указать учебные пособия, учебники, нормативные документы, интернет-источники, используемые при ее выполнении, поставить подпись и дату.

На первой странице каждого задания необходимо указать номер вопроса или задачи согласно заданию и записать полные условия и исходные данные. Далее оформляется пояснительная записка, содержащая все расчетные

формулы. Решения задач необходимо сопровождать ссылками на нормативные документы и литературные источники. Ответы на вопросы должны быть изложены в реферативной форме, то есть не должно быть дословного переписывания из литературных источников. Графики и рисунки должны быть выполнены аккуратно с использованием программного обеспечения. Оформление заданий должно сопровождаться краткими, но исчерпывающими пояснениями, согласно приведенным примерам расчета.

Контрольная работа должна быть сдана на кафедру для рецензирования. Сданная курсовая работа проверяется преподавателем. Если работа соответствует требованиям, то она рекомендуется «К зачету». В противном случае работа возвращается с пометкой «Нет допуска».

Если контрольная работа не допущена к зачету, то все необходимые дополнения и исправления сдают вместе с незачтенной работой. Студент, получив прорецензированную контрольную работу с замечаниями и указаниями преподавателя, должен исправить ошибки и устранить недостатки, а при необходимости дополнить или переделать работу.

Студент должен быть готов дать во время зачета пояснения по выполнению всех заданий. Студент, не сдавший своевременно контрольную работу и не имеющий рекомендации «К зачету», к сдаче зачета по контрольной работе не допускается.

## **ЗАДАНИЕ 1. Теория моделирования**

Напишите реферат объемом 10 страниц.

Задание выполняется по предпоследней цифре шифра.

0. Теория моделирования: современные проблемы развития.
1. Методы прогнозирования чрезвычайных ситуаций.
2. Методы прогнозирования пожаров и их последствий.
3. Проблемы прогнозирования демографических процессов.
4. Модели распространения загрязнений: сфера использования и ограничения.
5. Модели распространения вирусов: сфера использования и ограничения.
6. Моделирование экологического равновесия.
7. Моделирование механизмов государственного регулирования деятельности промышленных предприятий по выбросу вредных веществ.
8. Имитационное моделирование.
9. Информационные технологии для моделирования сложных динамических систем.

## ЗАДАНИЕ 2. Определение устойчивости системы согласно критериям Михайлова и Найквиста

Пользуясь критериями устойчивости Михайлова и Найквиста определить устойчивость одноконтурной системы управления, имеющую в разомкнутом состоянии передаточную функцию вида

$$W(s) = \frac{K}{(as + 1)(bs + 1)^2(cs + 1)}$$

Построить годографы Михайлова и Найквиста. Определить частоту среза системы. Определить критическое значение коэффициента усиления системы. Исходные данные берутся из табл. 1.1. Решите задачу с использованием MicrosoftExcel.

Таблица 1.1. Значения параметров системы

№ варианта	K, 1/сек	a, сек	b, сек	c,сек
<i>выполняется по</i>	<i>предпоследней цифре шифра</i>	<i>последней цифре шифра</i>	<i>по сумме последней и предпоследней цифр шифра</i>	
0	50	25	0.1	0.01
1	40	20	0.2	0.02
2	30	30	0.15	0.005
3	40	50	0.1	0.005
4	100	100	0.2	0.01
5	120	80	0.1	0.01
6	40	10	0.2	0.01
7	50	30	0.4	0.01
8	100	20	0.15	0.02
9	40	150	0.2	0.01

Запишите передаточную функцию разомкнутой системы:

$$\frac{K}{(as+1)(bs+1)^2(cs+1)}$$

1. Определите устойчивость системы согласно критерию Михайлова.

Передаточная функция замкнутой системы:

$$W_3(s) = \frac{K}{(as+1)(bs+1)^2(cs+1) + K}$$

Характеристический многочлен замкнутой системы:

$$D(s) = (as+1)(bs+1)^2(cs+1) + K = d_1s^4 + d_2s^3 + d_3s^2 + d_4s + d_5$$

Определите, будет ли система устойчива в замкнутом состоянии.

$$D(j\omega) = d_1\omega^4 - d_2j\omega^3 - d_3\omega^2 + d_4j\omega + d_5 = (d_1\omega^4 - d_3\omega^2 + d_5) + j(d_4\omega - d_2\omega^3)$$

$$D(j\omega) = U + jV, \text{ где}$$

$$U = d_1\omega^4 - d_3\omega^2 + d_5$$

$$V = d_4\omega - d_2\omega^3$$

Постройте годограф Михайлова вблизи и сдали от нуля, для этого постройте  $D(j\omega)$  при изменении  $\omega$  от 0 до  $+\infty$ . Найдите точки пересечения  $U(\omega)$  и  $V(\omega)$  с осями. Сделайте выводы об устойчивости системы по годографу.

2. Определите устойчивость системы согласно критерию Найквиста.

Передаточная функция разомкнутой системы:

$$W_p(s) = \frac{K}{(as+1)(bs+1)^2(cs+1)} = \frac{K}{d_1s^4 + d_2s^3 + d_3s^2 + d_4s + d_5}$$

$$W_p(j\omega) = \frac{K}{(d_1\omega^4 - d_3\omega^2 + d_5) + j(d_4\omega - d_2\omega^3)} =$$

$$= \frac{K(d_1\omega^4 - d_3\omega^2 + d_5 - j(d_4\omega - d_2\omega^3))}{(d_1\omega^4 - d_3\omega^2 + d_5)^2 + (d_4\omega - d_2\omega^3)^2} = \frac{Kd_1\omega^4 - Kd_3\omega^2 + Kd_5 + j(-Kd_4\omega + Kd_2\omega^3)}{f_1\omega^8 + f_2\omega^6 + f_3\omega^4 + f_4\omega + f_5}$$

$$W_p(j\omega) = X + jY, \text{ где}$$

$$X = \frac{Kd_1\omega^4 - Kd_3\omega^2 + Kd_5}{f_1\omega^8 + f_2\omega^6 + f_3\omega^4 + f_4\omega + f_5}$$

$$Y = \frac{-Kd_4\omega + Kd_2\omega^3}{f_1\omega^8 + f_2\omega^6 + f_3\omega^4 + f_4\omega + f_5}$$

Определите точки пересечения  $X(\omega)$ ,  $Y(\omega)$  с осями.

Определите, устойчива ли система в разомкнутом состоянии. Для этого постройте годограф Найквиста (рисуем  $W_P(j\omega)$  при изменении  $\omega$  от 0 до  $+\infty$ ) вблизи и вдали от нуля. Определите устойчивость системы.

3. Найдите частоту среза системы и критическое значение коэффициента усиления системы.

Решите систему:

$$\left\{ \begin{array}{l} X(\omega_c) = -1 \\ Y(\omega_c) = 0 \\ \frac{k_c(d_1\omega^4 - d_3\omega^2 + d_5)}{f_1\omega^8 + f_2\omega^6 + f_3\omega^4 + f_4\omega + f} = -1 \\ \frac{k_c(-d_4\omega_c + d_2\omega_c^3)}{f_1\omega_c^8 + f_2\omega_c^6 + f_3\omega_c^4 + f_4\omega_c + f_5} = 0 \end{array} \right.$$

Из второго уравнения находится частота среза системы  $\omega_c$

Подставьте полученное значение  $\omega_c$  в первое уравнение, и найдите критическое значение коэффициента усиления системы  $k_c$



### ЗАДАНИЕ 3. Математическая модель задачи о назначениях

Постройте математическую модель задачи о назначениях. Решите задачу с использованием Microsoft Excel. Проанализируйте полученные результаты.

Задание выполняется по последней цифре шифра.

Имеется четыре работы и четыре кандидата для выполнения этих работ. Затраты  $i$ -го кандидата на выполнение  $j$ -ой работы представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 Затраты кандидатов на выполнение работ

	Работа 1	Работа 2	Работа 3	Работа 4
Кандидат 1	с 11	с 12	с 13	с 14
Кандидат 2	с 21	с 22	с 23	с 24
Кандидат 3	с 31	с 32	с 33	с 34
Кандидат 4	с 41	с 42	с 43	с 44

Требуется распределить кандидатов на выполнение работ таким образом, чтобы затраты на выполнение работ были минимальны. При условии, что каждый кандидат может выполнять только одну работу. Каждая работа может быть выполнена только одним кандидатом.

Таблица 3.2. Исходные данные к заданию 3

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
с 11	3	7	8	3	4	4	4	4	10	6
с 21	7	7	9	2	3	4	4	4	7	7
с 31	2	6	10	4	5	5	3	3	6	5
с 41	8	4	3	9	10	10	10	7	4	5
с 12	7	5	5	7	7	7	7	7	5	5
с 22	2	9	9	4	4	5	5	5	8	3
с 32	4	4	4	7	7	7	5	5	4	7
с 42	6	6	6	7	7	7	7	8	7	8
с 13	2	6	6	5	5	5	5	5	6	6
с 23	1	8	8	4	4	5	5	5	8	8
с 33	5	10	10	2	2	2	3	9	10	4
с 43	5	3	7	3	3	3	3	10	8	5
с 14	7	8	9	8	7	7	7	7	6	7
с 24	8	3	4	5	4	5	5	5	8	4
с 34	1	9	7	8	7	7	8	8	10	8
с 44	6	5	3	8	7	7	7	6	4	3

*Методические указания к выполнению задания 3*

Требуется найти назначение кандидатов на работы, при котором суммарные затраты на выполнение работ минимальны.

Критерий оптимизации (минимум затрат):

$$F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min,$$

где  $c_{ij}$  – затраты  $i$ -го кандидата на выполнение  $j$ -ой работы,  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  
 $j = 1, 2, \dots, n$ ,

$x_{ij}$  - переменная, принимающая значения 0 или 1. Если  $i$ -ый кандидат выполняет  $j$ -ую работу, то  $x_{ij} = 1$ , если  $i$ -ый кандидат не выполняет  $j$ -ую работу, то  $x_{ij} = 0$ .

Система ограничений:

$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, n$  - каждый кандидат выполняет только одну работу,

$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j = 1, 2, \dots, n$  – каждая работа может быть выполнена только одним кандидатом,

$x_{ij} \in \{0; 1\}, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n$  – по условию задачи.

Постройте математическую модель.

Критерий оптимальности задается функцией:

$$F = c_{11}x_{11} + c_{12}x_{12} + c_{13}x_{13} + c_{14}x_{14} + \\ + c_{21}x_{21} + c_{22}x_{22} + c_{23}x_{23} + c_{24}x_{24} + \\ + c_{31}x_{31} + c_{32}x_{32} + c_{33}x_{33} + c_{34}x_{34} +$$

$$+c_{41}x_{41} + c_{42}x_{42} + c_{43}x_{43} + c_{44}x_{44} \rightarrow \min$$

Запишите систему ограничений:

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} = 1$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} = 1$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{33} = 1$$

$$x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} = 1$$

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} = 1$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} = 1$$

$$x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} = 1$$

$$x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} = 1$$

$$x_{ij} \in \{0; 1\}, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n$$

Далее решите задачу, используя Microsoft Excel. Проанализируйте полученное решение.