

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**Н. А. Евдокимова**

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,  
обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки  
20.03.01 Техносферная безопасность

Калининград  
2022

УДК 658.382.3

Рецензент

кандидат биологических наук, старший преподаватель ФГБОУ ВО  
«Калининградский государственный технический университет»  
Е.А. Масюткина.

**Евдокимова, Н.А.** Математическое моделирование: учеб.-методич. пособие по изучению дисциплины для студ. бакалавриата по напр. подгот. 20.03.01 Техносферная безопасность / **Н.А. Евдокимова.** – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 17 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Математическое моделирование» представлены учебно-методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план лекции по каждой изучаемой теме, методические указания по выполнению самостоятельной работы по дисциплине, вопросы для самоконтроля, а также список рекомендуемых источников.

Список лит. – 2 наименования

Локальный электронный методический материал. Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины. Рекомендовано к использованию в учебном процессе методической комиссией института рыболовства и аквакультуры ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» «29» июня 2022 г., протокол № 5

УДК 658.382.3

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калининградский государственный технический университет», 2022 г.  
© Евдокимова Н.А., 2022 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Тематический план по дисциплине .....	6
Методические указания по выполнению самостоятельной работы по дисциплине.....	10
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	15
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	16

## **ВВЕДЕНИЕ**

Учебно-методическое пособие разработано для направления подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» (для очной форм обучения) по дисциплине «Математическое моделирование», входящей в Блок 1. Дисциплины (модули). Обязательная часть. Математический и естественно-научный модуль.

Целью освоения дисциплины является формирование основных понятий, методов и приемов построения математических моделей при решении практических задач, направленных на обеспечение техносферной безопасности.

В результате освоения дисциплины студент должен

**знать:**

основные понятия, методы и приемы математического моделирования применительно к прикладным задачам техносферной безопасности.

**уметь:**

- формировать математические модели применительно к задачам охраны труда, защите в ЧС, применять математические методы для их анализа;

- строить оптимальные планы внедрения мероприятий, нормализующих рабочую среду и снижающих уровень травматизма на основе решения оптимизационных задач;

- использовать в целях моделирования программное обеспечение.

**владеть:**

- навыками разработки математических моделей задач обеспечения техносферной безопасности и их исследования.

При изучении дисциплины используются компетенции, базовые знания, умения и навыки, полученные в процессе освоения следующих дисциплин образовательной программы бакалавриата: «Введение в профессию», «Безопасность жизнедеятельности», «Информатика», «Информационные технологии».

Студенты, приступающие к изучению данной дисциплины, для успешного ее освоения должны иметь представления о технологии моделирования.

Дисциплина «Математическое моделирование» формирует компетенции, используемые студентами в дальнейшей профессиональной деятельности, а также является базой при изучении таких дисциплин как «Надежность технических систем и техногенный риск», «Управление техносферной безопасностью», «Защита в чрезвычайных ситуациях», при выполнении выпускной квалификационной работы.

Текущий контроль осуществляется после рассмотрения на лекциях соответствующих тем в форме тестовых заданий по отдельным темам.

Оценивание осуществляется по следующим критериям:

- «Отлично» – 90-100 % правильных ответов в тесте;
- «Хорошо» – 70-90 % правильных ответов в тесте;
- «Удовлетворительно» – 50-70 % правильных ответов в тесте;
- «Неудовлетворительно» – менее 50 % правильных ответов в тесте.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме зачета. Итоговая оценка «зачтено» выставляется при условии, если студент:

- прошел все предусмотренные учебным планом виды занятий;
- выполнил все предусмотренные учебным планом виды работ;
- выполнил и защитил лабораторные работы;
- прошел все установленные рабочей программой дисциплины виды текущего контроля на оценку не ниже «удовлетворительно».

Учебно-методическое пособие состоит из:

введения, где указаны: шифр, наименование направления подготовки (специальности); дисциплина учебного плана, для изучения которой оно предназначено; цель и планируемые результаты освоения дисциплины; место дисциплины в структуре ОПОП ВО; виды текущего контроля, последовательности его проведения, критерии и нормы оценки (отметки); форма проведения промежуточной аттестации; условия выставления зачета;

основной части, которая содержит тематический план по дисциплине, методические указания по выполнению самостоятельной работы по дисциплине;

заключения;

списка рекомендуемых источников.

## ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### Тема 1. Общие принципы математического моделирования в техносферной безопасности

**Форма занятий** – лекция.

**Вопросы для обсуждения:**

Материальное и математическое моделирование.

Основные требования к математическим моделям.

Особенности линейных и нелинейных моделей.

Основные элементы математической модели.

Общая последовательность действий при решении какой-либо задачи с использованием математического моделирования.

Критерии оптимальности при формировании математических моделей в области техносферной безопасности.

Показатели, характеризующие риски, связанные с травмированием.

Показатели, характеризующие заболеваемость работников.

Интенсивность (риск) и доза воздействия опасных и вредных факторов.

Подробно с указанной информацией можно ознакомиться в [1, с. 5-25].

### Тема 2. Моделирование профессионального риска

**Форма занятий** – лекция.

**Вопросы для обсуждения:**

Шестибалльная шкала для оценки условий труда.

Психофизика. Зависимость между величиной ощущения и интенсивностью раздражителя (стимула) согласно психофизическому закону С. Стивенса.

Годовой профессиональный риск.

События, пересекающиеся во времени и в пространстве, создающие условия для несчастного случая.

Риск или вероятность несчастного случая. Вероятность нахождения работника в опасной зоне?

Математическое ожидание числа несчастных случаев при реализации какого-либо технологического процесса.

Сущность технологического направления в моделирование риска несчастных случаев.

Подробно с указанной информацией можно ознакомиться в [1, с. 26-74].

### **Тема 3. Математические модели оценки состояния условий труда**

**Форма занятий** – лекция.

**Вопросы для обсуждения:**

Понятие условий труда.

Формулы для расчета коэффициента условий труда.

Определение уровня риска профессионально обусловленных заболеваний работников.

Подробно с указанной информацией можно ознакомиться в [1, с. 74-76].

### **Тема 4. Математическая модель задачи проектирования вентиляционной системы**

**Форма занятий** – лекция.

**Вопросы для обсуждения:**

Критерий оптимальности в математической модели задачи проектирования вентиляционной системы.

Производительность вентиляционной системы.

Составляющие общих затрат на изготовление и функционирование вентиляционной системы.

Методы исследования модели проектирования вентиляционной системы.

Подробно с указанной информацией можно ознакомиться в [1, с. 77-81].

### **Тема 5. Математическая модель задачи проектирования съёмных грузозахватных приспособлений**

**Форма занятий** – лекция.

**Вопросы для обсуждения:**

Понятие грузового стропа.

Проектирование грузового стропа.

Понятие траверсы.

Проектирование траверсы.

Подробно с указанной информацией можно ознакомиться в [1, с. 82-87].

### **Тема 6. Математическая модель планирование надзорно-контрольной деятельности**

**Форма занятий** – лекция.

**Вопросы для обсуждения:**

Показатели, используемые при распределении бюджета рабочего времени контролирующих лиц.

Факторы, учитываемые при распределении бюджета времени контролирующих лиц по подконтрольным объектам.

Расчет времени работы контролирующего лица на  $i$ -м предприятии.

Подробно с указанной информацией можно ознакомиться в [1, с. 88-90].

## **Тема 7. Оптимизация внутрисменных режимов труда и отдыха**

**Форма занятий** – лекция.

**Вопросы для обсуждения:**

Внутрисменные режимы труда и отдыха при неблагоприятных значениях показателей микроклимата.

Внутрисменные режимы труда и отдыха при повышенных уровнях шума.

Внутрисменные режимы труда и отдыха при повышенных уровнях вибрации.

Внутрисменные режимы труда и отдыха при повышенных уровнях электромагнитных излучениях.

Подробно с указанной информацией можно ознакомиться в [1, с. 91-101].

## **Тема 8. Оптимизация продолжительности и периодичности обучения и инструктирования по безопасности труда и распределения обязанностей должностных лиц в сфере безопасности**

**Форма занятий** – лекция.

**Вопросы для обсуждения:**

Оптимизация продолжительности обучения и инструктирования по безопасности труда.

Цикличность обучения (инструктажей) по вопросам безопасности.

Оптимизация распределения обязанностей должностных лиц в сфере безопасности.

Информационная модель, используемая для распределения обязанностей должностных лиц в сфере безопасности.

Подробно с указанной информацией можно ознакомиться в [1, с. 102-111].

## **Тема 9. Нелинейная математическая модель распределения средств на цели снижения профессиональных рисков**

**Форма занятий** – лекция.

**Вопросы для обсуждения:**

Математическая модель снижения риска.

Затраты на производственное освещение.

Затраты на снижение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

Подробно с указанной информацией можно ознакомиться в [1, с. 112-116].

## **Тема 10. Простейшая модель эпидемий**

**Форма занятий** – лекция.

**Вопросы для обсуждения:**

Факторы, влияющие на число заболевших людей.

Зависимость числа больных от времени протекания эпидемии.

Мероприятия, снижающие распространение эпидемии.

Подробно с указанной информацией можно ознакомиться в [1, с. 116-118].

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

## Общие рекомендации

«Математическое моделирование» - достаточно сложная дисциплина, для освоения которой необходимы знания по математике, физике, а также опыт работы специалистов по охране труда. В содержании дисциплины ведущая роль принадлежит моделям, относящимся к обеспечению безопасности. Знание этих моделей позволяет быстрее изучить содержание отдельных направлений обеспечения техносферной безопасности – производственной, пожарной, защиты населения и территорий в условиях чрезвычайных ситуаций. Своевременное выявление и устранение опасных и вредных факторов, минимизация их опасного и вредного действия – одна из важнейших задач специалистов по техносферной безопасности.

Осваивая курс «Математическое моделирование», студент должен научиться работать на лекциях, лабораторных занятиях и организовывать самостоятельную работу. В начале лекции необходимо уяснить цель, которую лектор ставит перед собой и студентами. Важно внимательно слушать, отмечать наиболее существенную информацию и кратко ее конспектировать; укладывать новую информацию в собственную, уже имеющуюся, систему знаний. По ходу лекции необходимо подчеркивать новые термины, определения, устанавливать их взаимосвязь с изученными ранее понятиями. На лекциях рассматриваются теоретические вопросы дисциплины, контролируются результаты освоения учебного материала с помощью тестирования по окончании рассмотрения раздела.

В процессе подготовки к лабораторным занятиям студенты должны использовать материалы лекций, литературу и нормативные документы, заранее указываемые преподавателем. Лабораторные занятия проводятся в форме исследования моделей с использованием ПЭВМ. Все исследованные модели в конце семестра предъявляются преподавателю. Ответы студентов по лабораторным работам оцениваются и учитываются при промежуточной аттестации по дисциплине.

## Вопросы для самоконтроля

### Тема 1. Общие принципы математического моделирования в техносферной безопасности

1. Что понимается под математической моделью?
2. Что входит в понятие «математическое моделирование»?
3. В чем отличие математического моделирования от предметного?
4. Что необходимо для формирования математической модели?
5. Каковы основные требования к математическим моделям?

6. Какие математические модели относят к структурным?
  7. Какие виды математических моделей более распространены в техносферной безопасности?
  8. Каковы особенности линейных и нелинейных математических моделей?
  9. Почему применяется линеаризация нелинейных математических моделей?
  10. Из каких элементов в общем случае состоит математическая модель?
  11. Какова общая последовательность действий при решении какой-либо задачи с использованием математического моделирования?
  12. Каковы реальные объекты исследования в техносферной безопасности, по которым могут быть получены решения с помощью математических моделей?
  13. Что может относиться к неуправляемым переменным в математических моделях?
  14. Каким требованиям должна соответствовать продуктивная математическая модель?
  15. Какие показатели могут использоваться в качестве критериев оптимальности при формировании математических моделей в области техносферной безопасности?
  16. Какими показателями характеризуются риски, связанные с травмированием?
  17. Как определяется вероятность  $k$  ( $k=0, 1, 2, \dots$ ) несчастных случаев?
  18. Какими показателями характеризуется заболеваемости работников?
  19. Как может быть определена интенсивность (риск) воздействия опасных и вредных факторов?
  20. Как определяется доза воздействия опасных и вредных факторов?
  21. Каким образом классы и подклассы условий труда переводятся в баллы профессионального риска?
- Тема 2. Моделирование профессионального риска**
1. Почему для оценки условий труда (профессионального риска) может быть использована шестибальная шкала?
  2. Какова смысловая нагрузка баллов риска?
  3. В чем состоит предмет психофизики?
  4. Какова зависимость между величиной ощущения и интенсивностью раздражителя (стимула) согласно психофизическому закону С. Стивенса?
  5. Каким образом рассчитываются баллы риска применительно к повышенному шуму при использовании психофизического закона С. Стивенса?
  6. Как определяется годовой профессиональный риск?

7. Какие события, пересекающиеся во времени и в пространстве, создают условия для несчастного случая?

8. Как в общем случае определяется риск или вероятность несчастного случая?

9. Как рассчитать вероятность нахождения работника в опасной зоне?

10. Как определяется вероятность попадания травмирующего фактора в кого-либо из участвующих в работе лиц?

11. Как в общем случае определяется математическое ожидание числа несчастных случаев при реализации какого-либо технологического процесса?

12. В чем состоит содержание технологического направления в моделировании риска несчастных случаев?

### **Тема 3. Математические модели оценки состояния условий труда**

1. Что понимается под условиями труда?

2. Формулы для расчета коэффициента условий труда.

3. Каково будет значение коэффициента условий труда при  $x_i = x_{\max}$ ?

4. Каково будет значение коэффициента условий труда при  $x_i = 1$ ?

5. Если коэффициент условий труда равен 0,64, то каково будет значение риска профессионально обусловленных заболеваний?

### **Тема 4. Математическая модель задачи проектирования вентиляционной системы**

1. В чем состоит критерий оптимальности в математической модели задачи проектирования вентиляционной системы?

2. Как определяется производительность вентиляционной системы?

3. Из каких составляющих складываются общие затраты на изготовление и функционирование вентиляционной системы?

4. С помощью какого метода может исследоваться модель проектирования вентиляционной системы?

### **Тема 5. Математическая модель задачи проектирования съемных грузозахватных приспособлений**

1. Что представляет собой грузовой строп?

2. Как определяется натяжение ветви грузового стропа?

3. Как изменяется натяжение ветви грузового стропа с увеличением угла между противоположными ветвями стропа?

4. Какой угол между противоположными ветвями стропа обеспечивает минимальный вес этого изделия?

5. Какой нормативный документ устанавливает требования к СГП?

6. Из чего складывается общий вес траверсы?

7. Как находится площадь поперечного сечения трубы или двутавра, из которых обычно изготавливается траверса?

## **Тема 6. Математическая модель планирование надзорно-контрольной деятельности**

1. Какие показатели могут быть использованы при распределении бюджета рабочего времени контролирующих лиц?

2. Что учитывается при распределении бюджета времени контролирующих лиц по подконтрольным объектам?

3. Какая часть бюджета рабочего времени контролирующих лиц распределяется по подконтрольным объектам?

## **Тема 7. Оптимизация внутрисменных режимов труда и отдыха**

1. Как определяется продолжительность одного периода отдыха при неблагоприятных температурных условиях?

2. Как рассчитывается допустимая температура воздуха в месте отдыха работников?

3. Как определяется допустимая доза шума?

4. Уровень шума составляет 86 дБА, продолжительность работы в условиях повышенного шума 6 ч. Какова будет полученная доза шумовой нагрузки?

5. Как определяется соотношение между периодами в условиях повышенного шума и периодами работы в условиях, безопасных по уровню шума?

6. Каким образом из условия соблюдения сменной допустимой дозы шума находится допустимый уровень шума в зоне с пониженным шумом?

7. Как определяется допустимая доза вибрационной нагрузки?

8. Как определяется допустимое время работы в условиях одновременного воздействия нескольких неблагоприятных (опасных и/или вредных) производственных факторов?

## **Тема 8. Оптимизация продолжительности и периодичности обучения и инструктирования по безопасности труда и распределения обязанностей должностных лиц в сфере безопасности**

1. Как определяется вероятность снижения возможного ущерба с учетом повышения вероятности правильных действий?

2. Из какого условия определяется оптимальная продолжительность обучения по вопросам безопасности?

3. Как определяется цикличность обучения (инструктажей) по вопросам безопасности?

4. Как строится информационная модель, используемая для распределения обязанностей должностных лиц в сфере безопасности?

5. Какие нормативные документы следует использовать при разработке и распределении обязанностей должностных лиц в сфере безопасности?

6. Что позволяет получить информационная модель?

**Тема 9. Нелинейная математическая модель распределения средств на цели снижения профессиональных рисков**

1. Как записывается показатель риска в задаче распределения средств на его снижение?
2. Как определяются затраты на производственное освещение?
3. Запишите выражения для определения затрат на снижение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

**Тема 10. Простейшая модель эпидемий**

1. Почему изложенная модель эпидемии является простейшей?
2. От чего зависит число заболевших людей?
3. Как изменяется число больных с учетом времени протекания эпидемии?
4. До какого момента времени происходит возрастание числа заболевших при эпидемии?
5. С помощью каких мероприятий достигается снижение распространения эпидемии?

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате освоения дисциплины у студента формируются знания и навыки для самостоятельной постановки соответствующих задач в области управления техносферной безопасностью и их исследования и решения на основе математического моделирования.

Студент приобретает навыки формирования моделей оценки рисков, связанных с повреждающей способностью рабочей среды, с возникновением несчастных случаев, с проектированием технологических процессов по критерию минимизации рисков, с возникновением и развитием эпидемии.

## **СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

Основная литература:

1. Минько, В.М. Математическое моделирование в техносферной безопасности: учеб. пособие для студ., обуч. в бакалавриате по напр. подгот. 20.03.01 - Техносферная безопасность / В. М. Минько; рец.: Н. А. Евдокимова; ФГБОУ ВПО "КГТУ". – Калининград: КГТУ, 2015. – 130 с.

Дополнительная литература:

2. Минько, В.М. Математическое моделирование в охране труда: монография / В. М. Минько; ФГОУ ВПО "КГТУ". – Калининград: КГТУ, 2008. – 247 с.

Локальный электронный методический материал

Евдокимова Наталья Анатольевна

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Редактор И. Голубева

Локальное электронное издание

Уч.-изд. л. 1,5. Печ. л. 1,0

Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»,  
236022, Калининград, Советский проспект, 1