

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

О. Я. Мезенова

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины
для студентов бакалавриата по направлению подготовки
19.03.01 Биотехнология
(профиль «Пищевая биотехнология»)

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2022

Мезенова, О. Я.

Математическое моделирование: учеб.-методич. пособие по изучению дисциплины для студ. бакалавриата по напр. подгот. 19.03.01 Биотехнология / О. Я. Мезенова. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 32 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Математическое моделирование» представлены учебно-методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие план лекции по каждой изучаемой теме, вопросы для самоконтроля для направления подготовки 19.03.01 – Биотехнология, форма обучения очная.

Табл. 2, список лит. – 14 наименований

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рассмотрено и рекомендовано к опубликованию кафедрой пищевой биотехнологии «18» апреля 2022 г., протокол № 8

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины «Математическое моделирование» рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала методической комиссией института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 5 мая 2022 г., протокол № 5

УДК 613.2

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2022 г.
© Мезенова О. Я., 2022 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	6
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ.....	15
3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	18
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	20
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	22

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Математическое моделирование» относится к Блоку 1 базовой части образовательной программы бакалавриата по направлению 19.03.01 Биотехнология, профиль «Пищевая биотехнология».

Целью освоения дисциплины является формирование у студентов начальных знаний и навыков в области математического моделирования биотехнологических процессов и рецептур продуктов биотехнологии.

Задачи изучения дисциплины:

- освоение теоретического материала в области основных понятий, теории и практики математического моделирования биотехнологических процессов, планирования и оптимизации технологического эксперимента;
- формирование начальных знаний, умений и навыков по моделированию в биотехнологии и обработке экспериментальных данных, в том числе с применением пакета прикладных программ;
- приобретение навыков по моделированию частных биотехнологических процессов и продуктов.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

знать:

- основные понятия и определения в области математического моделирования;
- объекты исследования, методы и планы моделирования, особенности применения планирования эксперимента при решении задач оптимизации биотехнологического процесса в пищевых производствах;

уметь:

- использовать современные информационные технологии для успешного решения конкретных задач биотехнологической науки и производства;

владеть:

- навыками математического моделирования эксперимента и обработки данных, в том числе с применением пакетов прикладных программ.

Дисциплина опирается на компетенции, глубокие знания, умения и навыки обучающихся, полученные при освоении предыдущих дисциплин курса.

Дисциплина «Математическое моделирование» является базовой дисциплиной, формирующей у обучающихся компетенции, связанные с моделированием, планированием, оптимизацией и проектированием биотехнологических процессов и продуктов пищевой биотехнологии.

Для успешного освоения дисциплины «Математическое моделирование», студент должен активно работать на лекционных и лабораторных занятиях, организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность.

Для оценивания поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) предусмотрены тестовые задания по отдельным темам, задания и контрольные вопросы по лабораторным занятиям. Тестирование обучающихся проводится на лекционных занятиях после изучения соответствующих тем. Тестовое задание предусматривает выбор правильного ответа на поставленный вопрос из предлагаемых вариантов ответа. Перед проведением тестирования преподаватель знакомит студентов с вопросами теста, а после проведения тестирования проводит анализ его работы.

Промежуточная аттестация проводится в виде зачета, к которому допускаются студенты, освоившие темы курса и имеющие положительные оценки.

К зачету допускаются студенты:

- положительно аттестованные по результатам промежуточной аттестации (получившие при этой аттестации оценку «зачтено»);
- получившие положительную оценку по результатам лабораторного практикума;
- получившие положительную оценку по результатам защиты реферата.

Для успешного освоения дисциплины «Математическое моделирование» в учебно-методическом пособии по изучению дисциплины приводится краткое содержание каждой темы занятия, перечень ключевых вопросов для подготовки лабораторных работ и организации самостоятельной работы студентов.

1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Осваивая курс «Математическое моделирование», студент должен научиться работать на лекциях, лабораторных работах и организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность. При разработке образовательной технологии организации учебного процесса основной упор сделан на соединение активной и интерактивной форм обучения. Интерактивная форма позволяет студентам проявить самостоятельность в освоении теоретического материала и овладении практическими навыками, формирует интерес и позитивную мотивацию к учебе.

В начале лекции необходимо уяснить цель, которую лектор ставит перед собой и студентами. Важно внимательно слушать, отмечать наиболее существенную информацию и кратко ее конспектировать; сравнивать то, что услышано на лекции с прочитанным и усвоенным ранее материалом в области инновационной деятельности пищевых производств, 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 основные определения и классификация математических моделей, примеры их применения в различных сферах, включая биологию, химию, пищевую промышленность, медицину, физиологию и другие сферы. Приводится классификация моделей, освещается моделирование до и после эксперимента, статических и динамических процессов, обработка экспериментальных данных.

Для успешного освоения дисциплины, прежде всего, необходимо уяснить основные принципы математического моделирования: условность, ограниченность, использование математической формализации. В пищевой и биотехнологической сфере профессиональные навыки и умения выпускника-биотехнолога направлены на прикладное проектирование заданных биотехнологических процессов и продуктов, предназначенных для повышения здоровья и качества жизни современного человека.

Тематический план лекционных занятий представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Объем (трудоемкость освоения) и структура лекционных занятий

Номер темы	Содержание лекционного курса	Количество часов лекционных занятий
1	Основные определения математического моделирования, классификация моделей	2
2	Методологическая схема построения моделей для различных объектов моделирования	2
3	Системный подход в моделировании. Основные принципы системного моделирования	4
4	Дисперсионный анализ в математическом моделировании	4
5	Математическое моделирование и оптимизация биотехнологических процессов и продуктов	4
Итого		16

Изучение данных разделов дисциплины не сводится к освоению только данных вопросов. Параллельно теоретический материал иллюстрируется примерами успешного математического моделирования в пищевой биотехнологии. По мере необходимости изучаются смежные области моделирования, связанные с генной инженерией, биоэнергетикой, биоэкономикой и др.

Изучение основ математического моделирования должно базироваться на понимании его сущности, которое формируется в процессе лекционных и лабораторных занятий и в самостоятельной учебной работе. Не следует «механически» воспринимать математические модели и слепо их копировать на лабораторных занятиях, при работе с учебной, учебно-методической и технической литературой. Необходимо понять значение данного моделирования, возможность получения дополнительной информации с использованием математически формализованных зависимостей, что особенно важно при проектировании пищевых продуктов нового поколения с учетом принципов современной науки о питании. Для этого необходимы примеры успешного моделирования, которые должны осознанно использоваться при выполнении лабораторных занятий. Для успешного усвоения темы и выполнения задания следует четко представлять, какие преимущества дает математическое моделирование в традиционных и новых технологических производствах.

Тема 1. Основные определения математического моделирования, классификация моделей

Цель и задачи дисциплины. Место дисциплины в структуре образовательной программы. Планируемые результаты освоения дисциплины. Этапы создания методологии математического моделирования. Появление точных наук; появление компьютеров; появление информационного общества. Определения математической модели и математического моделирования. Примеры использования моделей в той или иной форме. Математика, как инструмент математического моделирования. Математическое моделирование в традиционных областях (физика, химия, биология); в новых областях и дисциплинах (технические, экологические, химические, биологические и экономические системы). Проблемы и сложности в математическом моделировании сложных систем. Прямой натурный эксперимент и его проблемы. Математическое моделирование в социальных процессах и его проблемы. Основные задачи и принципы математического моделирования в пищевой биотехнологии. Примеры моделирования современных пищевых систем.

Классификация моделей по различным факторам и их анализ. Аналитические и имитационные модели. Теоретические и эмпирические модели. Линейные и нелинейные модели. Статические и динамические модели. Детерминированные и стохастические модели. Аналитически и численно разрешимые модели. Классификация моделей в зависимости от целей – описательные, объяснительные и прогностические. Концептуальные модели, как содержательные модели, при формулировке которых используются понятия и представления предметных областей знания, занимающихся изучением объекта моделирования. Виды концептуальных моделей: логико-семантические, структурно-функциональные и причинно-следственные.

Вопросы для самоконтроля:

- 1. Что такое модель, математическая модель, математическое моделирование?*
- 2. Каковы основные цели и задачи математического моделирования в пищевой биотехнологии?*
- 3. Назовите основные принципы математического моделирования в пищевой биотехнологии.*
- 4. Приведите примеры моделей и математических моделей в экономике, в химии, биологии, медицине.*
- 5. Опишите преимущества математического моделирования объекта при его изучении.*

6. *Дайте классификацию моделей по основным признакам и приведите примеры моделей в каждой группе.*

7. *Опишите статические и динамические модели, приведите примеры в пищевой биотехнологии.*

8. *Дайте определения аналоговым моделям, приведите примеры в пищевой биотехнологии.*

9. *Что такое модель в виде графа? Приведите примеры в пищевой биотехнологии.*

10. *Каковы преимущества детерминированных и стохастических моделей? В каких случаях они применяются? Приведите примеры для объектов пищевой биотехнологии.*

Тема 2. Методологическая схема построения моделей для различных объектов моделирования

Цели построения моделей. Способы представления моделей. Свойства моделей. Основными требованиями, предъявляемыми к математическим моделям: адекватность, универсальность и экономичность. Простота модели. Потенциальность (предсказательность) модели. Достаточная точность результатов решения задачи, надежность функционирования модели. Способность к совершенствованию модели без ее коренной переделки. Простота форм исходных данных и их заполнения при выдаче задания на расчет.

Формы представления модели. Инвариантная форма в виде записи соотношений модели с помощью традиционного математического языка безотносительно к методу решения уравнений модели. Аналитическая форма в виде записи модели в виде результата аналитического решения исходных уравнений модели. Алгоритмическая форма в виде записи соотношений модели и выбранного численного метода решения в форме алгоритма. Графическая форма – представление модели на некотором графическом языке (язык графов, эквивалентные схемы, диаграммы и т. п.). Физическая форма – представление моделей как уменьшенных копий реальных аппаратов и технологических процессов. Аналоговая форма модели, основанная на подобии явлений, имеющих различную физическую природу, но описываемых одинаковыми математическими уравнениями.

Основные принципы методологии моделирования для различных объектов. Основные этапы математического моделирования. Этап построения модели. Этап реализации модели. Решение задачи, к которой приводит модель. Интерпретация полученных следствий из математической модели. Проверка адекватности модели. Модификация модели.

Вопросы для самоконтроля:

1. Назовите основные принципы методологии моделирования для пищевой биотехнологии.
2. Перечислите основные этапы математического моделирования, приведите примеры для моделирования объекта в пищевой биотехнологии.
3. Что включает в себя этап построения модели и как выявляются особенности объекта моделирования и связи между ними?
4. Как проводится реализация модели, формализованной на языке математики?
5. Каковы механизмы решения задачи, к которой приводит математическая модель? Приведите примеры.
6. Как интерпретируются следствия из решения и анализа математической модели? Приведите примеры.
7. Опишите механизм проверки адекватности модели. Как при этом учитывается заданная точность?
8. Что делается, если модель не адекватна? Какие существуют способы принятия решений в данном случае?
9. При неадекватности модели может ли исследователь окончить моделирование? Какие выводы он делает в данном случае?
10. Что включает в себя модификация модели при установлении ее неадекватности? В каком случае считается достаточным моделирование по принятой схеме?

Тема 3. Системный подход в моделировании. Основные принципы системного моделирования

Типы системного подхода при моделировании: описывающие поведение объектов или результаты наблюдений за явлениями; объясняющие причину такого поведения и получение таких результатов; позволяющие предсказать поведение и результаты в будущем.

Системное моделирование, как один из методов познания. Опосредованное практическое или теоретическое исследование объекта в системном моделировании. Цели системного моделирования. Непосредственное изучение не самого интересующего объекта, а некоторой вспомогательной искусственной или естественной системы. Объективное соответствие с познаваемым объектом. Замещение объекта в определенных отношениях.

Интуитивное моделирование при системном подходе – моделирование, основанное на интуитивном представлении об объекте исследования, не поддающемся формализации или не нуждающемся в ней. Научное моделирование в системном подходе – логически обоснованное моделирование, использующее минимальное число предположений, принятых в качестве гипотез на основании наблюдений за объектом моделирования.

Принципы системного подхода в математическом моделировании. Процесс синтеза модели на основе классического и системного подходов в моделировании. Стадии разработки модели при системном подходе. Преимущества системного подхода в моделировании.

Абстрактные модели в пищевой биотехнологии, построенные на принципах системного моделирования. Основные факторы: возможности описания технического объекта (системы) на языке символов, принятом в пищевой биотехнологии. Абстрактные модели в пищевой биотехнологии математического и нематематического вида.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое системный подход и как он реализуется в теории моделирования систем?

2. Опишите основные этапы системного моделирования на примере объектов пищевой биотехнологии.

3. Опишите существующие подходы к моделированию систем. Какие из них наиболее рациональны при моделировании в пищевой биотехнологии?

4. Охарактеризуйте основные принципы классического и системного подходов при моделировании систем. Сравните их на примере моделирования пищевых систем.

5. Как применяется системный подход в системотехнике?

6. Опишите примеры применения системного подхода при проектировании рецептур пищевых продуктов.

7. Опишите основные стадии разработки моделей при системном подходе моделирования.

8. Как устанавливают целевые характеристики объектов моделирования – пищевых смесей для детского питания?

9. Каким образом ведут моделирование рецептурных смесей?

10. Перечислите основные принципы, которым должна удовлетворять формализованная модель.

Тема 4. Дисперсионный анализ в математическом моделировании

Основные определения, задачи и цели дисперсионного анализа. Метод в математической статистике, направленный на поиск зависимостей в экспериментальных данных путём исследования значимости различий в средних значениях. Зависимые и независимые переменные. Представления зависимых и независимых переменных, примеры в пищевой биотехнологии. Изучение влияния одной или нескольких независимых переменных (факторов) на зависимую переменную (параметр). Виды дисперсионного анализа. Однофакторный и многофакторный дисперсионный анализ (одна или несколько независимых пере-

менных); одномерный и многомерный дисперсионный анализ (одна или несколько зависимых переменных); дисперсионный анализ с повторными измерениями (для зависимых выборок); дисперсионный анализ с постоянными факторами, случайными факторами, и смешанные модели с факторами обоих типов.

Математическая модель дисперсионного анализа. Процедура дисперсионного анализа. Определение соотношения систематической (межгрупповой) дисперсии к случайной (внутригрупповой) дисперсии в измеряемых данных.

Исходные положения дисперсионного анализа: нормальное распределение значений изучаемого признака в генеральной совокупности; равенство дисперсий в сравниваемых генеральных совокупностях; случайный и независимый характер выборки.

Однофакторный дисперсионный анализ. Проверка нулевой гипотезы о равенстве средних. Проверка при анализе двух групп дисперсионный анализ тождественен двухвыборочному t-критерию Стьюдента для независимых выборок, и величина F-статистики равна квадрату соответствующей t-статистики.

Многофакторный дисперсионный анализ. Проверка влияния нескольких факторов на зависимую переменную. Линейная модель многофакторной модели. Проверка несколько нулевых гипотез: проверка равенств средних под влиянием факторов А и В; отсутствия взаимодействий между факторами А и В.

Отыскание вида функции методом наименьших квадратов. Определение ошибки эксперимента. Проверка значимости коэффициентов модели. Проверка адекватности математических моделей.

Вопросы для самоконтроля:

1. *Что такое дисперсионный анализ? Каково его назначение? В каких случаях он применяется?*

2. *Опишите основные принципы метода наименьших квадратов в дисперсионном анализе.*

3. *Как отыскать вид функции и построить математическую модель методом наименьших квадратов?*

4. *Приведите примеры отыскания вида линейной функции при исследовании в пищевой биотехнологии.*

5. *Приведите примеры отыскания вида функции второго порядка при исследовании в пищевой биотехнологии.*

6. *Приведите примеры отыскания вида функции второго порядка при исследовании в пищевой биотехнологии.*

7. *Приведите примеры отыскания тангенциального вида функции при исследовании объектов пищевой биотехнологии.*

8. *Опишите механизм отбраковки грубых промахов и определение ошибки эксперимента.*

9. Что такое критерий Кохрена? Как он определяется? Приведите примеры его применения при исследовании объектов пищевой биотехнологии.

10. Как проверить значимость коэффициентов математической модели и ее адекватность методом дисперсионного анализа?

Тема 5. Математическое моделирование и оптимизация биотехнологических процессов и продуктов

Основные определения математического планирования и оптимизации технологических эксперимента. Преимущества планирования эксперимента перед классическим методом проведения экспериментов. Экстремальные эксперименты. Методы планирования экстремальных экспериментов. Матрица математического плана эксперимента. Виды математических планов эксперимента. Полный и дробный факторный эксперимент. Ортогональный план второго порядка и метода ортогонализации. Критерии оптимальности. Решение задач оптимизации. Функции желательности.

Планирование, проведение и оптимизация экстремальных эксперимента. План экспериментов по ортогональному центральному композиционному плану второго порядка для двух и трех факторов. Проведение эксперимента и алгоритм обработки экспериментальных данных. Получение кодированных математических моделей. Проверка адекватности математических моделей. Получение натуральных математических моделей. Анализ кодированных и натуральных математических моделей. Графическое представление и анализ графических математических моделей. Оптимизация графических математических моделей методом Бокса-Уилсона. Моделирование и оптимизация процессов и рецептур биотехнологических продуктов.

Математические модели оптимизации параметров биотехнологических процессов. Математические модели выбора рациональных дозировок препаратов и условий проведения биокатализа с целью получения продукции с заданными составом и свойствами. Моделирование кинетики ферментативных реакций. Математические модели рецептур поликомпонентных пищевых систем. Математические модели биотехнологических процессов ферментативного и термического гидролиза протеиновых процессов.

Общие сведения о математических моделях и компьютерном моделировании. Неформальный переход от рассматриваемого технического объекта к его расчетной схеме. Примеры компьютерного моделирования простейших типовых биотехнологических процессов и систем.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что такое планирование эксперимента? Каковы его преимущества перед классическим методом исследования в однофакторном эксперименте?

2. Что такое «черный ящик» в математическом планировании эксперимента? Каким требованиям он должен удовлетворять?

3. Дайте определения фактору и параметру оптимизации в математическом моделировании. Приведите примеры для объектов исследования в пищевой биотехнологии.

4. Что такое обобщенный параметр оптимизации? Какими способами можно его определять?

5. Что такое полный и дробный факторный эксперимент? В каком случае они применяются? Приведите примеры для объектов пищевой биотехнологии.

6. Каковы преимущества ортогонального центрального композиционного плана перед другими планами при планировании эксперимента?

7. Как достигается ортогонализация матрицы ортогонального центрального композиционного плана?

8. Как используются данные матрицы при планировании эксперимента и обработки его данных?

9. Опишите механизм построения математической модели и оптимизации процесса и продукта с ее применением.

10. В чем сущность метода Бокса-Уилсона при оптимизации с применением полученной математической модели объекта исследования?

Для активизации учебной работы по первым темам на лекционных занятиях проводится тестирование студентов в течение 10–15 мин. В дальнейшем текущий контроль учебы студентов проводится на лабораторных занятиях. Оценки результатов тестирования и лабораторных работ учитываются при промежуточной аттестации по дисциплине.

Тестовые задания используются для оценки освоения первых двух тем дисциплины студентами очной формы обучения – знания основных определений в области моделей и математического моделирования. Тестирование обучающихся проводится на занятиях после рассмотрения на лекциях соответствующих тем.

Задания по темам 1 и 2 «Основные определения математического моделирования, классификация моделей» и «Методы статистического анализа результатов эксперимента» предусматривает выбор правильного ответа на поставленный первый вопрос из предлагаемых вариантов ответа, а также самостоятельный ответ на поставленный второй вопрос. Положительная оценка («зачтено») выставляется, если получены правильные ответы.

Оценка определяется количеством допущенных при выборе ответов ошибок:

- «отлично» – ошибок нет;
- «хорошо» – не более двух ошибок;
- «удовлетворительно» – при трех ошибках;
- «неудовлетворительно» – более трех ошибок.

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Особое место в структуре дисциплины занимают лабораторные занятия, выполняемые в специализированной лаборатории кафедры пищевой биотехнологии, а также самостоятельно в свободное от аудиторных занятий время. Студенты в аудитории осваивают задания, полученные от преподавателя. В ходе самостоятельной подготовки студенты выполняют индивидуальные задания, предусмотренные лабораторными занятиями.

Целью лабораторных занятий является формирование умений и навыков по анализу математических моделей конкретных задач биотехнологии, статическому анализу биотехнологического эксперимента, математическому описанию экспериментальных данных, разработке статических и динамических моделей биотехнологических процессов, планированию и оптимизации биотехнологических процессов с применением ортогональных планов математического моделирования, решению задач оптимизации рецептурного состава пищевых и биологически активных продуктов.

Тематический план лабораторных занятий представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Объем (трудоёмкость освоения) и структура лабораторных занятий

№ темы	Содержание практического занятия	Количество часов лабораторных занятий
1	Формализация процесса моделирования рецептур смесей, как объектов пищевой биотехнологии	5
2	Моделирование органолептической оценки качества пищевых продуктов	5
3	Моделирование рецептур продуктов пищевой биотехнологии по энергетической ценности	5
4	Аппроксимация данных пищевой системы математической функцией с применением метода наименьших квадратов	5
5	Планирование эксперимента и оптимизация биотехнологического процесса с применением ортогонального центрального композиционного плана второго порядка для двух факторов	5
6	Моделирование и оптимизация рецептур пищевых биопродуктов по трем факторам	5
Итого		30

На лабораторных работах студенты-биотехнологи закрепляют основные разделы дисциплины «Математическое моделирование». Лабораторные работы посвящены математическому моделированию рецептур пищевых смесей, графическому моделированию органолептической оценки пищевых продуктов, проектированию продуктов пищевой биотехнологии по энергетической ценности, аппроксимации экспериментальных данных математическими функциями с применением метода наименьших квадратов, планированию эксперимента и оптимизация биотехнологического процесса и рецептур продуктов.

Математическое моделирование пищевых биотехнологий нужно рассматривать, как процесс построения и изучения иерархической системы автономных математических моделей. Выбор уровня абстрагирования при математическом моделировании биотехнологий должен предусматриваться теми задачами, которые должны быть решены с помощью построенной модели, информации, а также конечной целью исследования.

Лабораторные работы направлены на развитие знаний, умений и навыков по формализации некоторых аспектов в сложных процессах формирования заданного качества продуктов пищевой биотехнологии: моделирование рецептур, органолептической оценки качества, аппроксимации экспериментальных данных, оптимизации технологических режимов и компонентного состава.

Выполнение всех лабораторных работ позволит студентам-биотехнологам в дальнейшем использовать полученные знания в научных исследованиях при проведении экспериментальных работ, необходимых в процессе проектирования продуктов и производств пищевой биотехнологии.

Все лабораторные работы имеют цель, задания, методические указания по выполнению заданий, контрольные вопросы. Список литературы дополняет материал методических указаний.

Лабораторные работы направлены на развитие знаний, умений и навыков по формализации некоторых аспектов в сложных процессах формирования заданного качества продуктов пищевой биотехнологии: моделирование рецептур, органолептической оценки качества, аппроксимации экспериментальных данных, оптимизации технологических режимов и компонентного состава. Для этого необходимы примеры, которые должны осознанно использоваться при освещении конкретных тем на лекциях и лабораторных занятиях.

Выполнение всех лабораторных работ позволит студентам-биотехнологам в дальнейшем использовать полученные знания в научных исследованиях при проведении экспериментальных работ, необходимых в процессе проектирования продуктов и производств пищевой биотехнологии.

Оценка результатов выполнения задания по каждой лабораторной работе производится при представлении студентом отчета по лабораторной работе, демонстрации преподавателю исполнения индивидуального задания и на основании ответов студента на вопросы по тематике лабораторной работы. Студент, самостоятельно выполнивший индивидуальное задание и продемонстрировавший знание по теме работы, получает по лабораторной работе оценку «зачтено».

Кроме того, по лабораторному практикуму выставляется экспертная оценка по четырехбалльной шкале – «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Неудовлетворительная оценка выставляется, если студент не выполнил и не «защитил» предусмотренные рабочей программой дисциплины лабораторные работы.

Важно своевременно осваивать лекционные материалы и выполнять предусмотренные к лабораторным работам задания. Систематическое освоение теоретического материала (лекций) и другого необходимого учебного материала позволит быть готовым для тестирования, выполнения индивидуальных работ и аттестации по дисциплине.

Другие, более детальные методические указания по лабораторным работам приведены в соответствующих методических указаниях и учебно-методических материалах по ним.

3 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАБОТЫ

Согласно учебному плану дисциплины «Математическое моделирование» направления подготовки 19.03.01 Биотехнология, студенты очной формы обучения закрепляют изучаемый материал, самостоятельно в виде выполнения индивидуальной работы, написания реферата на заданную тему. Рекомендуется при выборе темы соотнести ее со своей научной деятельностью, исследовать направление, актуальное для своей семьи, знакомых, коллег и т. д.

Очень важно на достойном уровне выполнить индивидуальное задание (реферат) по выбранной теме. Для этого необходимо:

- проанализировать классическую и современную научную литературу по теме реферата;
- подобрать, изучить и проанализировать современную техническую литературу, патенты, техническую документацию (ГОСТы, ТУ, ТР ТС и др.);
- выразить собственное мнение по теме реферата.

Индивидуальная работа оформляется в виде реферата, на основании которого проводится защита работы (цель – оценка уровня освоения учебного материала). Результат работы учитывается при промежуточной и заключительной аттестации по дисциплине. Типовые темы индивидуальных заданий приведены в приложение А.

Ответы на рассматриваемые вопросы должны излагаться по существу, быть четкими, полными, ясными и содержать элементы анализа.

При ответе на вопросы студент должен использовать не только учебную литературу, но и статьи, публикуемые в периодической печати, указывая в работе источники информации. Текстовая часть работы может быть иллюстрирована рисунками, схемами, таблицами. В конце приводится список использованных источников (не менее 10 источников).

Работа должна быть выполнена на листах формата А4 с одной стороны листа, в печатном варианте. Шрифт текстовой части размер – 12 (для заголовков – 14), вид шрифта – Times New Roman, интервал 1,5. Поля страницы: левое 3 см, правое 1,5 см, верхнее и нижнее 2 см. Нумерация страниц внизу справа.

Структура индивидуальной работы:

- титульный лист (приложение Б);
- содержание;
- текстовая часть (каждый вопрос начинать с нового листа);
- список используемой литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.001-2003, ГОСТ 7.0.100-2018.

В текстовой части не допускается сокращение слов. Объем выполненной работы не должен превышать 15 листов А4.

Индивидуальная работа должна быть оформлена в соответствии с общими требованиями, предъявляемыми к контрольным работам:

- текст должен быть отпечатан на компьютере;
- основной текст подразделяется на озаглавленные части в соответствии с содержанием работы. Заглавия не подчеркиваются, в конце заголовка точка не ставится, переносы допускаются;
- страницы текста пронумерованы арабскими цифрами в правом верхнем углу без точек. Титульный лист считается первым и не нумеруется;
- на каждой странице оставлены поля для замечаний рецензента;
- список использованных источников оформляются по соответствующим требованиям.

Стиль и язык изложения материала индивидуальной работы должны быть четкими, ясными и грамотными. Грамматические и синтаксические ошибки недопустимы.

Защита реферата проходит в виде его устного сообщения с представлением электронной презентации в течение 10–12 мин и ответе на вопросы. При положительной защите реферата студент получает промежуточную оценку «зачтено».

Положительная оценка («зачтено») выставляется в зависимости от полноты раскрытия вопроса и объема предоставленного материала в индивидуальной работе, а также степени его усвоения, которая выявляется при ее защите (умение использовать при ответе на вопросы научную терминологию, лингвистически и логически правильно отвечать на вопросы по проработанному материалу). Студент, получивший индивидуальную работу с оценкой «зачтено», знакомится с рецензией и с учетом замечаний преподавателя дорабатывает отдельные вопросы с целью углубления своих знаний.

Индивидуальная работа с оценкой «не зачтено» возвращается студенту с рецензией, выполняется студентом вновь и сдается вместе с не зачтенной работой на проверку преподавателю. Индивидуальная работа, выполненная не по своему варианту, возвращается без проверки и зачета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература:

1. Мезенова, О. Я. Проектирование поликомпонентных пищевых продуктов: учеб. пособие / О. Я. Мезенова. – Санкт-Петербург: Изд-во «Перспектив науки», 2015. – 224 с.
2. Мезенова, О. Я. Проектирование поликомпонентных пищевых продуктов: учеб. пособие / О. Я. Мезенова. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015. – 216 с.

Дополнительная литература:

1. Бобренева, И. В. Математическое моделирование в технологиях продуктов питания животного происхождения: учеб. пособие / И. В. Бобренева, С. В. Николаева. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 124 с.
2. Марков Ю. Г. Математические модели химических реакций: учеб. пособие / Ю. Г. Марков, И. В. Маркова. – Санкт-Петербург: Лань, 2013. – 192 с.
3. Бхаттачария, Р. Н. Аппроксимация нормальным распределением и асимптотические разложения / Р. Н. Бхаттачария, Р. Ранга Рао. – Москва: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 2019. – 288 с.
4. Ризниченко, Г. Ю. Математическое моделирование биологических процессов. Модели в биофизике и экологии: учеб. пособие / Г. Ю. Ризниченко. – Москва: Юрайт, 2016. – 213 с.
5. Колесникова, Н. В. Компьютерное моделирование рецептур многокомпонентных продуктов / Н. В. Колесникова, С. Ю. Лескова, К. М. Миронов. – УланУдэ: ВСГТУ, 2008. – 63 с.
6. Лепешкин, А. И. Проектирование состава продуктов питания с заданными свойствами / А. И. Лепешкин, Л. А. Надточий, А. Ю. Чечеткина. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2020. – 46 с.
7. Лоран, П.-Ж. Аппроксимация и оптимизация / П.-Ж. Лоран. – Москва: Мир, 2015. – 496 с.
8. Макаричев, Ю. А. Методы планирование эксперимента и обработки данных: учеб. пособие / Ю. А. Макаричев, Ю. Н. Иванников. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. – 131 с.
9. Моделирование рецептур пищевых продуктов и технологий их производства: теория и практика: учеб. пособие / О. Н. Красуля [и др.]. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2015. – 320 с.
10. Самойлов, Н. А. Примеры и задачи по курсу «Математическое моделирование химико-технологических процессов»: учеб. пособие / Н. А. Самойлов – Санкт-Петербург: Лань, 2013. – 176 с.

11. Реброва, И. А. Планирование эксперимента: учеб. пособие / И. А. Реброва. – Омск: СибАДИ, 2010. – 105 с.

Учебно-методические издания:

1. Мезенова, О. Я. Математическое моделирование в пищевой биотехнологии: учеб.-метод. пособие для лабораторных работ / О. Я. Мезенова, Н. Ю. Мезенова. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2021. – 103 с.

2. Рожнов, Е. Д. Моделирование биотехнологических процессов: метод. реком. по вып. лаб. раб., проведению практ. занятий и организации самост. работы студентов направ. подгот. 19.04.01 Биотехнология / Е. Д. Рожнов. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2019. – 96 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

ТИПОВЫЕ ТЕМЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ (РЕФЕРАТЫ)

- 1 Математическое моделирование в пивоварении.
- 2 Математическое моделирование в хлебопечении.
- 3 Математическое моделирование в технологии соков.
- 4 Математическое моделирование при изготовлении кондитерских изделий.
- 5 Математическое моделирование в технологии минеральных напитков.
- 6 Математическое моделирование в технологии майонезов.
- 7 Математическое моделирование при изготовлении жировых спредов.
- 8 Математическое моделирование в технологии вин.
- 9 Математическое моделирование в технологии спирта и спиртосодержащих напитков.
- 10 Математическое моделирование при производстве кисломолочных напитков.
- 11 Математическое моделирование в технологии мороженого.
- 12 Математическое моделирование в сыроделии.
- 13 Математическое моделирование в технологии функциональных молочных продуктов.
- 14 Математическое моделирование в технологии обогащенных творожных изделий.
- 15 Математическое моделирование в технологии колбасных изделий.
- 16 Математическое моделирование при производстве мясных копченых изделий.
- 17 Математическое моделирование в технологии биологически активных веществ из вторичного сырья мясного производства.
- 18 Математическое моделирование в технологии мясных эмульгированных изделий.
- 19 Математическое моделирование при изготовлении рыбных пресервов.
- 20 Математическое моделирование в технологии стерилизованных рыбных консервов.
- 21 Математическое моделирование при изготовлении биологически активных добавок из рыбного сырья.
- 22 Математическое моделирование ферментативных процессов.
- 23 Математическое моделирование микробиологических процессов.
- 24 Математическое моделирование при проектировании обогащенных функциональных продуктов питания.

- 25 Математическое моделирование при проектировании продуктов детского питания.
- 26 Математическое моделирование при проектировании продуктов геродиетического питания.
- 27 Математическое моделирование при проектировании продуктов спортивного питания.
28. Математическое моделирование при проектирование продуктов диабетического назначения.
29. Математическое моделирование продуктов с минимальной калорийностью, предназначенных для снижения массы тела.
30. Математическое моделирование продуктов, предназначенных для укрепления сердечно-сосудистой системы организма.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт агроинженерии и пищевых систем

Кафедра пищевой биотехнологии

Индивидуальная работа
допущена к защите:
должность (звание), ученая степень
_____ Фамилия И.О.
«__» _____ 202__ г.

Индивидуальная работа
защищена
должность (звание), ученая степень
_____ Фамилия И.О.
«__» _____ 202__ г.

Индивидуальная работа

по дисциплине
«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ»

ТЕМА

Работу выполнил:
студент гр. _____
_____ Фамилия И.О.
«__» _____ 202__ г.

Калининград - 20__

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Основные определения математической модели и математического моделирования.
2. Основные задачи и принципы математического моделирования.
3. Классификация моделей по различным факторам и их анализ
4. Основные этапы математического моделирования
5. Построение методологической схемы модели для разных объектов моделирования
6. Отыскание вида функции в биотехнологических экспериментах.
7. Дисперсионный анализ: определение ошибки эксперимента, отбраковка грубых промахов по критерию Стьюдента.
8. Дисперсионный анализ: проверка значимости коэффициентов регрессии по коэффициенту Стьюдента, определение адекватности.
9. Методы корреляционного и регрессионного анализа
10. Принципы системного подхода в математическом моделировании.
11. Процесс синтеза модели на основе классического и системного подходов в моделировании.
12. Стадии разработки модели при системном подходе. Преимущества системного подхода в моделировании.
13. Методы математического моделирования многофакторных биотехнологических объектов: преимущества перед однофакторным экспериментом.
14. Основные определения: фактор, параметр оптимизации, черный ящик, математическая модель, определение коэффициентов, проверка значимости коэффициентов, адекватности модели.
15. Матрицы в математическом планировании эксперимента и приемы ее построения.
16. Методы планирования экстремальных экспериментов. Полный и дробный факторный эксперимент.
17. Центральное композиционное планирование эксперимента. Ортогональные планы второго порядка. Их построение и преимущества.
18. Методика и алгоритмы определения коэффициентов математической модели.
19. Обобщенный параметр оптимизация. Методика его выбора и расчета.
20. Проведение эксперимента в соответствии с математическим планом и обработка его результатов.
21. Проверка значимости коэффициентов модели и адекватности модели.
22. Анализ полученных результатов математического моделирования.

23. Геометрическая интерпретация модели. Исследование поверхности отклика. Решение задач оптимизации методом крутого восхождения.
24. Моделирование и оптимизация технологических процессов изготовления функциональных пищевых продуктов (обогащенных изделий, биологически активных добавок к пище).
25. Симплексный метод планирования и оптимизации эксперимента.

ГЛОССАРИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ»

Адекватность модели – требование к модели, состоящее в её способности воспроизводить свойства, состояние и поведение исследуемого объекта с достаточной для поставленных целей точностью и в достаточно широком диапазоне изменения её состояния и состояния её среды. Достаточным условием адекватности модели является её гомоморфизм исследуемому объекту.

Аналитические модели – математические модели, разрабатываемые для исследования структуры моделируемой системы. В математическом моделировании, как правило, имеют целью выявление резервов повышения эффективности функционирования моделируемой системы либо факторов, влияющих на исследуемые показатели хозяйственной деятельности, а также формы и степени их влияния.

Апостериорное решение – в стохастических двухэтапных моделях – вектор оптимальных значений переменных, характеризующих плановые задания, выполняемые после поступления информации о наступлении определённого случайного события, влияющего на хозяйственные результаты. Для каждого варианта (исхода) случайных событий предусматривается отдельное апостериорное решение.

Априорное решение – в стохастических двухэтапных моделях – вектор оптимальных значений переменных, характеризующих плановые задания, требующие выполнения до поступления информации о случайных событиях, влияющих на ожидаемые хозяйственные результаты.

Взаимность (в математическом программировании) – свойство задач выпуклого (в том числе линейного) программирования, состоящее в инвариантности оптимального решения и инвариантности с точностью до масштаба множителей Лагранжа к замене целевой функции любым эффективным ограничением при дополнительном условии, что значение прежней целевой функции останется равным оптимальному.

Вычислительный эксперимент – метод исследования явления, процесса или машины, для которых разработана компьютерная модель.

Гомоморфизм – одностороннее отношение подобия структур двух систем. Система называется гомоморфной другой системе, если можно указать отношение, отображающее любой допустимый вектор её переменных на вектор некоторых выбранных переменных другой системы, компоненты которого являются компонентами некоторого допустимого вектора её состояния. Обязательное требование к модели – её гомоморфизм моделируемому объекту.

Гипотеза – декларативное предположение, описывающее ожидаемые взаимосвязи между изучаемыми явлениями, содержащее предполагаемое объ-

яснение того, каким образом независимые переменные порождают, оказывают воздействие либо изменяют поведение зависимой переменной.

Дескриптивные модели – модели, целью которых является формализованное представление знания о структуре моделируемого объекта.

Динамическая модель – математическая модель, описывающая развитие процесса во времени.

Задача векторного программирования – задача отыскания оптимума по Парето заданной вектор-функции на заданном множестве допустимых значений переменных.

Зависимая переменная – переменная, которая меняет свое значение в ответ на изменение значения других переменных.

Измерение – способ изучения социально-политических проблем, процессов, систем, их свойств и отношений с помощью количественных оценок. Применение процедур измерения в политическом анализе позволяет формулировать количественно определенные понятия (переменные) и связано с развитием специальных методов и измерительных инструментов (шкал, тестов, моделей).

Имитационная модель – математическая модель, воспроизводящая поведение исследуемого объекта и применяемая для постановки компьютерных экспериментов, выявляющих особенности функционирования объекта при различных внешних условиях и управляющих воздействиях.

Компьютерная имитация – реализованная на ЭВМ математическая модель, оперирующая системой динамических уравнений.

Компьютерная модель – математическая модель, оперирующая нечисленными алгоритмами и реализованная на ЭВМ.

Линейное программирование – раздел математического программирования, исследующий задачи отыскания экстремума линейной функции на множестве допустимых значений переменных, заданном системой линейных уравнений и (или) неравенств; формализм, используемый для представления знаний о структуре моделируемых объектов в форме задачи отыскания экстремума линейной функции на множестве допустимых значений переменных, заданном системой линейных уравнений и (или) неравенств.

Математическая модель – совокупность математических зависимостей, гомоморфная исследуемой системе и используемая для суждения о её свойствах и поведении.

Математическое моделирование – метод исследования реальных объектов при помощи постановки экспериментов на их математических моделях.

Математическое программирование – раздел математики, исследующий методы решения задач отыскания экстремума на заданном множестве допустимых значений переменных; формализм, используемый для представления знаний о структуре моделируемых объектов в форме задачи отыскания экстремума на заданном множестве допустимых значений переменных.

Матричная модель – экономико-математическая модель, предназначенная для планирования и анализа производства и распределения продукции на разных уровнях материального производства.

Моделирование – исследование объектов познания на их моделях. Моделирование предполагает построение и изучение моделей реально существующих предметов, явлений и конструируемых объектов:

- для определения или улучшения их характеристик;
- для рационализации способов их построения;
- для управления и прогнозирования.

Модель – упрощённое подобие реального объекта, используемое для его исследования.

Модель оптимизации – математическая модель, исходящая из того, что некоторые переменные в моделируемых процессах или ситуациях максимизируются или минимизируются.

Моделирование – (в широком значении) упрощенное представление действительности, используемое для изучения ее ключевых свойств; (в узком значении) этап анализа, предполагающий формализацию и математическое выражение основных элементов и взаимосвязей в изучаемой проблеме.

Независимая переменная – переменная, которая воздействует на значения других переменных, меняя свои собственные значения.

Неограниченность целевой функции – ситуация, при которой множество допустимых значений переменных задачи математического программирования содержит значения, доставляющие сколь угодно большое значение целевой функции. Если имеет место неограниченность целевой функции, оптимального решения задачи не существует.

Несовместность системы ограничений – ситуация, при которой множество допустимых значений переменных задач и математического программирования пусто вследствие наличия взаимоисключающих уравнений или неравенств, определяющих это множество. Вследствие отсутствия допустимых значений при несовместности системы ограничений оптимального решения задачи не существует.

Операционализация – преобразование относительно абстрактных теоретических понятий и утверждений в конкретные эмпирически измеряемые переменные и зависимости.

Оптимальный план – план, доставляющий максимум целевой функции, отражающей выбранный критерий эффективности функционирования объекта планирования при соблюдении требований, заданных в форме системы уравнений и неравенств. Оптимальный план не обязательно является наилучшим планом, подлежащим утверждению и последующему выполнению, поскольку учитывает только те условия хозяйственной деятельности, которые удалось описать в математической форме. Во многих случаях процесс планирования требу-

ет использования информации, содержащейся во множестве разнообразных оптимальных планов.

Оптимизационная модель – математическая модель, имеющая форму задачи математического программирования.

Переменная – эмпирически наблюдаемое свойство изучаемого явления, которое может принимать более одного значения. Переменные позволяют переводить утверждения, содержащие лишь абстрактные понятия, в утверждения с более точными эмпирическими определениями, так что эмпирическая правильность утверждения может быть оценена.

Показатель – данные, считываемые с показателя; становятся значениями, которые приписываются объектам по данной переменной.

Промежуточная переменная – независимая переменная, испытывающая воздействие antecedентной переменной.

Синтетические модели – математические модели, разрабатываемые для проектирования новых, отличающихся от известных, систем с заданными свойствами. К числу синтетических экономико-математических моделей относятся, например, модели машинно-тракторного парка, модели формирования инвестиционных программ и др.

Система математических моделей – совокупность логически, информационно и алгоритмически связанных математических моделей, отражающих существенные закономерности функционирования экономического объекта (экономические, организационные, технологические, финансовые и др.) в реальных условиях среды (П. П. Пастернак).

Системное моделирование – процесс имитации свойств, состояния и поведения во внешней среде систем со сложной или очень сложной структурой в целях управления ими, осуществляемый при помощи системы математических моделей (П. П. Пастернак).

Системный анализ – метод научного познания, нацеленный на установление структуры исследуемой системы. Метод системного анализа является необходимой предпосылкой метода математического моделирования.

Стохастические двухэтапные модели – экономико-математические модели, содержащие переменные, описывающие план, реализуемый до поступления информации о случайных условиях (априорное решение) и варианты планов, зависящих от поступившей информации о случайных условиях (апостериорное решение).

Теоретическая модель – математическая модель, описывающая структуру исследуемого объекта в общем виде, без спецификации конкретных числовых значений параметров.

Устойчивость оптимального плана – свойство математических моделей, имеющих форму задачи линейного программирования, состоящее в неизменности двойственных оценок ограничений при изменениях свободных чле-

нов ограничений в определённых пределах и в неизменности значений переменных при изменениях параметров целевой функции в определённых пределах.

Эмпирическая модель – математическая модель, содержащая числовые параметры, значения которых обоснованы данными опыта или наблюдения.

Формализм – знаковая система, используемая для представления знаний; совокупность языковых (изобразительных) и процедурных (вычислительных) средств представления знаний.

Форма представления систем – класс символьных представлений знаний о системе, выделяемый по признаку применимости для решения определённого круга исследовательских или прикладных задач.

Целевая функция – математическое выражение, отражающее выбранный критерий эффективности функционирования исследуемой системы в её математической модели.

Эмпирическая модель – математическая модель, содержащая числовые параметры, значения которых обоснованы данными опыта или наблюдения.

Локальный электронный методический материал

Ольга Яковлевна Мезенова

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Редактор Е. Билко

Локальное электронное издание

Уч.-изд. л. 2,4. Печ. л. 2,0

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