

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор/Декан  
института механики и энергетики  
Мастепаненко Максим Алексеевич

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ (ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ)**

**Б1.О.06 Математическое моделирование технических систем**

**23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов**

Надежность и эффективность технических средств

магистр

очная

# 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций ОП ВО и овладение следующими результатами обучения по дисциплине:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ОПК-1 Способен ставить и решать научно-технические задачи в сфере своей профессиональной деятельности и новых междисциплинарных направлений с использованием естественнонаучных и математических моделей с учетом последних достижений науки и техники;	ОПК-1.1 Применяет методы теоретического и экспериментального исследования объектов, процессов и явлений	<p><b>знает</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные принципы и понятия математического моделирования;</li> <li>- типы моделей и критерии их выбора для задач эксплуатации и цифровой экспертизы техники;</li> <li>- аналитические приёмы представления экспериментальных зависимостей;</li> <li>- основы теории ошибок, методов оценки погрешностей измерений и методов статистической обработки экспериментальных данных;</li> <li>- классические численные методы решения инженерных задач;</li> <li>- критерии устойчивости, сходимости и точности численных схем.</li> </ul>
		<p><b>умеет</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формулировать научно-техническую задачу в терминах модельных уравнений и критериев качества модели;</li> <li>- выбирать и обосновывать тип и уровень сложности модели для конкретной задачи эксплуатации или диагностики сельхозтехники;</li> <li>- выполнять аналитическую аппроксимацию экспериментальных зависимостей (линейная и нелинейная регрессия, подбор функций аппроксимации);</li> <li>- проектировать и проводить простые лабораторные/полевые эксперименты для получения данных о техническом состоянии узлов и агрегатов, обеспечивая контроль погрешностей.</li> </ul>
		<p><b>владеет навыками</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками применения программных средств для идентификации моделей и решения ОДУ/СЛАУ;</li> <li>- умением работы с системами сбора данных и датчиками на уровне настройки и получения корректных измерений;</li> <li>- навыками критической оценки результатов.</li> </ul>
ОПК-1 Способен ставить и решать научно-технические задачи в сфере своей профессиональной деятельности и новых междисциплинарных направлений с использованием естественнонаучных и математических моделей с учетом последних	ОПК-1.2 Применяет физико-механические, математическое и компьютерные модели при решении научно-технических задач в	<p><b>знает</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- базовые численные методы решения инженерных задач: численное интегрирование ОДУ, решение систем линейных/нелинейных уравнений, методы конечных разностей/конечных элементов; принципы сходимости, устойчивости и оценки погрешностей;</li> <li>- требования к планированию экспериментальных исследований и к качеству исходных данных для идентификации моделей;</li> <li>- основы цифровой экспертизы: сбор и предобработка сигналов, индикаторы технического состояния и критерии диагностической информативности.</li> </ul>

достижений науки и техники;	области профессиональной сфере	<p><b>умеет</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выполнять идентификацию параметров модели (метод наименьших квадратов, оптимизационные подходы) и оценивать неопределённость параметров;</li> <li>- применять численные методы для решения поставленных задач: интегрировать уравнения движения, решать СЛАУ и нелинейные системы, реализовывать численные схемы и оценивать их поведение;</li> <li>- проверять и валидировать модель, проводить чувствительный анализ и анализ источников ошибок;</li> <li>- интерпретировать результаты моделирования с инженерной точки зрения и формулировать практические рекомендации для эксплуатации и диагностики техники.</li> </ul> <p><b>владеет навыками</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками применения численных солверов для ОДУ/СЛАУ и оптимизаторов для идентификации параметров;</li> <li>- умением работать с инструментами сбора данных и базовыми методами получения сигналов — настройка, калибровка, получение корректных измерений;</li> <li>- навыками реализации процедур предобработки данных и базовой цифровой фильтрации/спектрального анализа.</li> </ul>
-----------------------------	--------------------------------	---

## 2. Перечень оценочных средств по дисциплине

№	Наименование раздела/темы	Семестр	Код индикаторов достижения компетенций	Оценочное средство проверки результатов достижения индикаторов компетенций
1.	1 раздел. Основные принципы и понятия математического моделирования			
1.1.	Основные принципы и понятия математического моделирования	1	ОПК-1.1, ОПК-1.2	Расчетно-графическая работа
2.	2 раздел. Аналитическое представление экспериментальных зависимостей			
2.1.	Аналитическое представление экспериментальных зависимостей	1	ОПК-1.1, ОПК-1.2	Расчетно-графическая работа
3.	3 раздел. Численное решение инженерных задач			
3.1.	Численное решение инженерных задач	1	ОПК-1.1, ОПК-1.2	Расчетно-графическая работа
4.	4 раздел. Зачет по дисциплине			
4.1.	Зачет по дисциплине	1	ОПК-1.1, ОПК-1.2	
	Промежуточная аттестация			За

### 3. Оценочные средства (оценочные материалы)

Примерный перечень оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

№ п/п	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде (Оценочные материалы)
Текущий контроль			
	Для оценки знаний		
	Для оценки умений		
1	Расчетно-графическая работа	Средство проверки умений применять полученные знания по заранее определенной методике для решения задач или заданий по модулю или дисциплине в целом.	Комплект заданий для выполнения расчетно-графической работы
	Для оценки навыков		
	Промежуточная аттестация		
2	Зачет	Средство контроля усвоения учебного материала практических и семинарских занятий, успешного прохождения практик и выполнения в процессе этих практик всех учебных поручений в соответствии с утвержденной программой с выставлением оценки в виде «зачтено», «незачтено».	Перечень вопросов к зачету

4. Примерный фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю) "Математическое моделирование технических систем"

*Примерные оценочные материалы для текущего контроля успеваемости*

Примерные оценочные материалы для текущего контроля успеваемости:

1. Объект моделирования, гипотеза, моделирование.
2. Основные виды моделирования
3. Классификации математических моделей.
4. Типы математических моделей.
5. Основные принципы и подходы к построению математических моделей.
6. Основные этапы математического моделирования.
7. Основные правила моделирования на основе электронных таблиц.
8. Общая характеристика Надстройки Поиск решения.
9. Надстройка Поиск решения для решения оптимизационных задач?
10. Особенности линейной оптимизационной задачи.
11. Примеры использования математического моделирования процессов технической эксплуатации автомобильных средств
12. Принципиальные отличия математического моделирования от имитационного моделирования.
13. Имитационное моделирование для процессов технической эксплуатации автомобильных средств
14. Построение интерполяционного многочлена. Интерполяционный многочлен в форме Ньютона и в форме Лагранжа.
15. Построение эмпирических формул. Методы сведения сложных эмпирических формул к простым. Оценка точности эмпирической формулы.
16. Методы вычислительной математики. Точность и погрешность вычислений. Классификация по-грешностей.
17. Численные методы решения нелинейных уравнений. Метод бисекции. Метод касательных. Метод секущих.
18. Методы приближенного вычисления определенных интегралов. Методы прямоугольников. Метод трапеций, метод парабол. Оценка точности квадратурной формулы.
19. Численное дифференцирование. Численное решение дифференциальных уравнений. Методы Рунге-Кутты для решения задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка.
20. Функции нескольких переменных. Поиск локального и глобального экстремумов
21. Одномерные задачи оптимизации.

***Примерные оценочные материалы  
для проведения промежуточной аттестации (зачет, экзамен)  
по итогам освоения дисциплины (модуля)***

Вопросы к зачету:

Основные принципы и понятия математического моделирования (теория и прикладные примеры)

1. Понятие модели, параметры, переменные, цель моделирования в технологических процессах животноводства.
2. Этапы построения модели: формулировка задачи, гипотезы, математическая постановка, решение, верификация и валидация.
3. Классификация моделей: детерминированные/стохастические, статические/динамические, дискретные/непрерывные, lumped-параметр/распределённые.
4. Основные физико-химические законы в техпроцессах: балансы массы, энергии, движения; законы кинетики реакций и ферментации.
5. Постановка начальных и краевых условий; примеры для пастеризации, сушки, брожения.
6. Упрощения и допущения: когда можно применять модели нулевого/первого приближения; оценка влияния упрощений.
7. Принципы размерности, немерные группы и их роль (переход от опыта к прототипу;  $Re$ ,  $Bi$ ,  $Fo$  — кратко).
8. Понятие устойчивости и адекватности модели; проверка чувствительности к параметрам.
9. Модельный цикл при внедрении новой технологической операции (проект → стенд →

поле): задачи и данные.

10. Примеры простых инженерных моделей в животноводстве: модель теплообмена в пастеризаторе, материальный баланс на приёмке сырья, модель кинетики сушки кормов.

Аналитическое представление экспериментальных зависимостей (обработка данных и аппроксимация)

1. Планирование эксперимента: факторы, уровни, репликация; требования к данным для идентификации модели.

2. Типы экспериментальных зависимостей: монотонные, периодические, экспоненциальные, насыщения, многофакторные.

3. Описательная статистика: среднее, дисперсия, стандартное отклонение, доверительные интервалы.

4. Построение и чтение статистических рядов, гистограмм, коробчатых диаграмм; выявление выбросов.

5. Линейная регрессия: постановка, метод наименьших квадратов, оценка точности параметров.

6. Немного о нелинейной аппроксимации: обратный синтез линейного вида, численные методы подбора параметров.

7. Полиномиальная регрессия, сплайны, интерполяция и когда применять.

8. Оценка адекватности модели:  $R^2$ , анализ остатков, тесты на нормальность остатков.

9. Выбор модели и переобучение: критерии простоты и информативности (коротко: принцип экономии параметров).

10. Аппроксимация кинетических кривых: первый/второй порядок, модель Монод/микробиологические кривые, закон Аррениуса для температурной зависимости.

11. Построение эмпирических корреляций для тепло-/массообмена (коэффициенты теплопередачи, сушильные скорости).

12. Калибровка и проверка датчиков; влияние шума на аппроксимацию; методы сглаживания (скользящее среднее, фильтры).

13. Интерпретация параметров аппроксимации в технологическом контексте (как параметры связаны с качеством продукции).

14. Практические задания: аппроксимация кривой сушки корма, подгонка кинетики брожения по полевым данным.

Численное решение инженерных задач (методы и приложения)

1. Роль численных методов в моделировании техпроцессов; выбор инструментов (MATLAB/Python/Excel).

2. Решение нелинейных уравнений одной переменной (методы бисекции, Ньютона) — назначение и сходимость.

3. Численные методы для систем линейных алгебраических уравнений (прямые и итерационные методы).

4. Численное интегрирование: правила прямоугольников, трапеций, Симпсона; оценка погрешности.

5. Численное решение ОДУ: методы Эйлера, Рунге-Кутты 2/4 порядка; жёсткие задачи — проблема устойчивости.

6. Пространственно-временная дискретизация для уравнений теплопроводности и диффузии (конечные разности); условие устойчивости схем.

7. Алгоритмы решения уравнений тепло- и массообмена в аппаратах переработки (пастеризатор, сушилка): постановка и численная реализация.

8. Методы оптимизации для идентификации параметров (градиентные методы, метод наименьших квадратов, простые эвристические).

9. Качество численного решения: сходимость, устойчивость, апостериорная оценка погрешности.

10. Обработка и усвоение экспериментальных данных при численном моделировании: регуляризация, фильтрация и методы борьбы с шумом.

11. Моделирование и симуляция технологических очередей/потоков в цехе (имитационное моделирование коротко).

12. Верификация и валидация численных моделей на примерах технологических операций в животноводстве.

13. Практические задачи: численная симуляция прогрева продукта в пастеризаторе; моделирование кинетики сушки с учётом вторичных эффектов; подгонка параметров модели по полевым данным.

**Темы письменных работ (эссе, рефераты, курсовые работы и др.)**

Темы письменных работ:

1. Понятие модели, параметры, переменные, цель моделирования в технологических процессах животноводства.

2. Этапы построения модели: формулировка задачи, гипотезы, математическая постановка, решение, верификация и валидация.

3. Классификация моделей: детерминированные/стохастические, статические/динамические, дискретные/непрерывные, lumped-параметр/распределённые.

4. Основные физико-химические законы в техпроцессах: балансы массы, энергии, движения; законы кинетики реакций и ферментации.

5. Постановка начальных и краевых условий; примеры для пастеризации, сушки, брожения.

6. Упрощения и допущения: когда можно применять модели нулевого/первого приближения; оценка влияния упрощений.

7. Принципы размерности, немерные группы и их роль (переход от опыта к прототипу;  $Re$ ,  $Bi$ ,  $Fo$  — кратко).

8. Понятие устойчивости и адекватности модели; проверка чувствительности к параметрам.

9. Модельный цикл при внедрении новой технологической операции (проект → стенд → поле): задачи и данные.

10. Примеры простых инженерных моделей в животноводстве: модель теплообмена в пастеризаторе, материальный баланс на приёмке сырья, модель кинетики сушки кормов.

1. Планирование эксперимента: факторы, уровни, репликация; требования к данным для идентификации модели.

2. Типы экспериментальных зависимостей: монотонные, периодические, экспоненциальные, насыщения, многофакторные.

3. Описательная статистика: среднее, дисперсия, стандартное отклонение, доверительные интервалы.

4. Построение и чтение статистических рядов, гистограмм, коробчатых диаграмм; выявление выбросов.

5. Линейная регрессия: постановка, метод наименьших квадратов, оценка точности параметров.

6. Немного о нелинейной аппроксимации: обратный синтез линейного вида, численные методы подбора параметров.

7. Полиномиальная регрессия, сплайны, интерполяция и когда применять.

8. Оценка адекватности модели:  $R^2$ , анализ остатков, тесты на нормальность остатков.

9. Выбор модели и переобучение: критерии простоты и информативности (коротко: принцип экономии параметров).

10. Аппроксимация кинетических кривых: первый/второй порядок, модель Монод/микробиологические кривые, закон Аррениуса для температурной зависимости.

11. Построение эмпирических корреляций для тепло-/массообмена (коэффициенты теплопередачи, сушильные скорости).

12. Калибровка и проверка датчиков; влияние шума на аппроксимацию; методы сглаживания (скользящее среднее, фильтры).

13. Интерпретация параметров аппроксимации в технологическом контексте (как параметры связаны с качеством продукции).

14. Практические задания: аппроксимация кривой сушки корма, подгонка кинетики брожения по полевым данным.

1. Роль численных методов в моделировании техпроцессов; выбор инструментов (MATLAB/Python/Excel).

2. Решение нелинейных уравнений одной переменной (методы бисекции, Ньютона) — назначение и сходимость.
3. Численные методы для систем линейных алгебраических уравнений (прямые и итерационные методы).
4. Численное интегрирование: правила прямоугольников, трапеций, Симпсона; оценка погрешности.
5. Численное решение ОДУ: методы Эйлера, Рунге-Кутты 2/4 порядка; жёсткие задачи — проблема устойчивости.
6. Пространственно-временная дискретизация для уравнений теплопроводности и диффузии (конечные разности); условие устойчивости схем.
7. Алгоритмы решения уравнений тепло- и массообмена в аппаратах переработки (пастеризатор, сушилка): постановка и численная реализация.
8. Методы оптимизации для идентификации параметров (градиентные методы, метод наименьших квадратов, простые эвристические).
9. Качество численного решения: сходимость, устойчивость, апостериорная оценка погрешности.
10. Обработка и усвоение экспериментальных данных при численном моделировании: регуляризация, фильтрация и методы борьбы с шумом.
11. Моделирование и симуляция технологических очередей/потоков в цехе (имитационное моделирование коротко).
12. Верификация и валидация численных моделей на примерах технологических операций в животноводстве.
13. Практические задачи: численная симуляция прогрева продукта в пастеризаторе; моделирование кинетики сушки с учётом вторичных эффектов; подгонка параметров модели по полевым данным.