

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

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор/Декан  
института механики и энергетики  
Мастепаненко Максим Алексеевич

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Рабочая программа дисциплины**

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

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

**Надежность и эффективность технических средств**

магистр

очная

## 1. Цель дисциплины

Целью освоения дисциплины «Математическое моделирование технических систем» является

формирование у магистрантов углубленных профессиональных знаний о математическом моделировании, приобретение навыков постановки задач моделирования, построения моделей, выбор оптимальных решений на основе математического моделирования.

## 2. 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 компетенции	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	<b>знает</b> <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> <b>умеет</b> <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> <b>владеет навыками</b> <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></ul>

		- навыками критической оценки результатов.
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-1.2 Применяет физико-механические, математические и компьютерные модели при решении научно-технических задач в области профессиональной сфере	<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> <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>

### 3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Математическое моделирование технических систем» является дисциплиной обязательной части программы.

Изучение дисциплины осуществляется в I семестре(-ах).

Для освоения дисциплины «Математическое моделирование технических систем» студенты используют знания, умения и навыки, сформированные в процессе изучения дисциплин:



1.1.	Основные принципы и понятия математического моделирования	1	6	2	4	26	КТ 1	Расчетно-графическая работа	ОПК-1.1, ОПК-1.2
2.	2 раздел. Аналитическое представление экспериментальных зависимостей								
2.1.	Аналитическое представление экспериментальных зависимостей	1	10	4	6	26	КТ 2	Расчетно-графическая работа	ОПК-1.1, ОПК-1.2
3.	3 раздел. Численное решение инженерных задач								
3.1.	Численное решение инженерных задач	1	10	4	6	26	КТ 3	Расчетно-графическая работа	ОПК-1.1, ОПК-1.2
4.	4 раздел. Зачет по дисциплине								
4.1.	Зачет по дисциплине	1							ОПК-1.1, ОПК-1.2
	Промежуточная аттестация	За							
	Итого		108	10	16	78			
	Итого		108	10	16	82			

### 5.1. Лекционный курс с указанием видов интерактивной формы проведения занятий

Тема лекции (и/или наименование раздел) (вид интерактивной формы проведения занятий)/ (практическая подготовка)	Содержание темы (и/или раздела)	Всего, часов / часов интерактивных занятий/ практическая подготовка
Основные принципы и понятия математического моделирования	Классификация и структура математических моделей. Методы математического описания объектов и процессов.	1/1
Основные принципы и понятия математического моделирования	Построение интерполяционного многочлена. Интерполяционный многочлен в форме Ньютона и в форме Лагранжа	1/1
Аналитическое представление экспериментальных зависимостей	Построение эмпирических формул. Методы сведения сложных эмпирических формул к простым. Оценка точности эмпирической формулы	2/-
Аналитическое представление экспериментальных зависимостей	Методы вычислительной математики. Точность и погрешность вычислений. Классификация погрешностей	2/2
Численное решение инженерных задач	Численные методы решения не-линейных уравнений. Метод бисекции. Метод касательных. Метод секущих. Методы приближенного вычисления определенных	2/-

	интегралов. Методы прямо-угольников. Метод трапеций, метод парабол. Оценка точности квадратурной формулы	
Численное решение инженерных задач	Численное дифференцирование. Численное решение дифференциальных уравнений. Методы Рунге-Кутты для решения задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения пер-вого порядка	1/-
Численное решение инженерных задач	Функции нескольких переменных. Поиск локального и глобального экстремумов. Одно-мерные задачи оптимизации	1/-
Итого		10

### 5.2.1. Семинарские (практические) занятия с указанием видов проведения занятий в интерактивной форме

Наименование раздела дисциплины	Формы проведения и темы занятий (вид интерактивной формы проведения занятий)/(практическая подготовка)	Всего, часов / часов интерактивных занятий/ практическая подготовка	
		вид	часы
Основные принципы и понятия математического моделирования	Построение математической модели объекта. Вычислительные алгоритмы. Погрешности измерений и вычислений. Интерполяционный многочлен в форме Лагранжа. и Ньютона	Пр	2/2/-
Основные принципы и понятия математического моделирования	Погрешности измерений и вычислений. Интерполяция табличных функций.	Пр	1/-/-
Основные принципы и понятия математического моделирования	Контрольная работа № 1 «Математическая обработка результатов наблюдений»	Пр	1/-/-
Аналитическое представление экспериментальных зависимостей	Численные методы решения нелинейных уравнений	Пр	2/2/-
Аналитическое представление экспериментальных зависимостей	Оценка точности ЭФ. Численные методы решения нелинейных уравнений. Методы приближенного вычисления определенных интегралов	Пр	2/-/-
Аналитическое представление экспериментальных зависимостей	Контрольная работа № 2 «Оптимизация»	Пр	2/-/-
Численное решение инженерных задач	Численные методы решения задач оптимизации.	Пр	2/-/-
Численное решение инженерных задач	Поиск локальных и глобальных экстремумов. Условные экстремумы.	Пр	2/-/-

	Задачи оптимизации. Параметры оптимизации и целевая функция.		
Численное решение инженерных задач	Контрольная работа № 3 «Методы численно-го решения инженерных задач»	Пр	2/-/-
Итого			

### 5.3. Курсовой проект (работа) учебным планом не предусмотрен

### 5.4. Самостоятельная работа обучающегося

Темы и/или виды самостоятельной работы	Часы
Изучение дополнительного материала по теме "Основные принципы и понятия математического моделирования"	26
Изучение дополнительного материала по теме "Аналитическое представление экспериментальных зависимостей"	26
Изучение дополнительного материала по теме "Численное решение инженерных задач"	26
Зачет	4

## 6. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающегося по дисциплине «Математическое моделирование технических систем» размещено в электронной информационно-образовательной среде Университета и доступно для обучающегося через его личный кабинет на сайте Университета. Учебно-методическое обеспечение включает:

1. Рабочую программу дисциплины «Математическое моделирование технических систем».
2. Методические рекомендации для организации самостоятельной работы обучающегося по дисциплине «Математическое моделирование технических систем».
3. Методические рекомендации по выполнению письменных работ (расчетно-графическая работа) (при наличии).
4. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы студентами заочной формы обучения (при наличии)
5. Методические указания по выполнению курсовой работы (проекта) (при наличии).

Для успешного освоения дисциплины, необходимо самостоятельно детально изучить представленные темы по рекомендуемым источникам информации:

№ п/п	Темы для самостоятельного изучения	Рекомендуемые источники информации (№ источника)		
		основная (из п.8 РПД)	дополнительная (из п.8 РПД)	метод. лит. (из п.8 РПД)
1	Основные принципы и понятия математического моделирования. Изучение дополнительного материала по теме "Основные принципы и понятия математического моделирования"	Л1.1, Л1.4	Л2.1	Л3.1
2	Аналитическое представление экспериментальных зависимостей. Изучение дополнительного материала по теме "Аналитическое представление экспериментальных зависимостей"	Л1.2, Л1.5	Л2.1	Л3.1
3	Численное решение инженерных задач. Изучение дополнительного материала по теме "Численное решение инженерных задач"	Л1.7	Л2.1	Л3.1
4	Зачет по дисциплине. Зачет	Л1.1, Л1.2, Л1.4, Л1.5, Л1.6	Л2.1	

## 7. Фонд оценочных средств (оценочных материалов) для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине «Математическое моделирование технических систем»

### 7.1. Перечень индикаторов компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

Индикатор компетенции (код и содержание)	Дисциплины/элементы программы (практики, ГИА), участвующие в формировании индикатора компетенции	1		2	
		1	2	3	4
ОПК-1.1: Применяет методы теоретического и экспериментального исследования объектов, процессов и явлений	Методы испытания транспортно-технологических машин и комплексов	x	x		
	Методы научных исследований		x		

Индикатор компетенции (код и содержание)	Дисциплины/элементы программы (практики, ГИА), участвующие в формировании индикатора компетенции	1		2	
		1	2	3	4
	Научно-исследовательская работа		x		x
	Проектирование и оптимизация транспортно-технологических процессов			x	
ОПК-1.2:Применяет физико-механические, математические и компьютерные модели при решении научно-технических задач в области профессиональной сфере	Компьютерные технологии в жизненном цикле изделия		x		
	Методы научных исследований		x		
	Научно-исследовательская работа		x		x
	Ознакомительная практика		x		
	Преддипломная практика				x
	Проектирование и оптимизация транспортно-технологических процессов			x	
	Проектирование технологических процессов восстановления и упрочнения деталей машин			x	

## 7.2. Критерии и шкалы оценивания уровня усвоения индикатора компетенций, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Оценка знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций по дисциплине «Математическое моделирование технических систем» проводится в форме текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль проводится в течение семестра с целью определения уровня усвоения обучающимися знаний, формирования умений и навыков, своевременного выявления преподавателем недостатков в подготовке обучающихся и принятия необходимых мер по её корректировке, а также для совершенствования методики обучения, организации учебной работы и оказания индивидуальной помощи обучающемуся.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Математическое моделирование технических систем» проводится в виде Зачет.

За знания, умения и навыки, приобретенные студентами в период их обучения, выставляются оценки «ЗАЧТЕНО», «НЕ ЗАЧТЕНО». (или «ОТЛИЧНО», «ХОРОШО», «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО», «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» для дифференцированного зачета/экзамена)

Для оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности в университете применяется балльно-рейтинговая система оценки качества освоения образовательной программы. Оценка проводится при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций обучающихся. Рейтинговая оценка знаний является интегрированным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине.

### Состав балльно-рейтинговой оценки студентов очной формы обучения

Для студентов очной формы обучения знания по осваиваемым компетенциям формируются на лекционных и практических занятиях, а также в процессе самостоятельной подготовки.

В соответствии с балльно-рейтинговой системой оценки, принятой в Университете студентам начисляются баллы по следующим видам работ:

№ контрольной точки	Оценочное средство результатов индикаторов достижения компетенций		Максимальное количество баллов
1 семестр			
КТ 1	Расчетно-графическая работа		10
КТ 2	Расчетно-графическая работа		10
КТ 3	Расчетно-графическая работа		10
<b>Сумма баллов по итогам текущего контроля</b>			<b>30</b>
Посещение лекционных занятий			20
Посещение практических/лабораторных занятий			20
Результативность работы на практических/лабораторных занятиях			30
Итого			100
№ контрольной точки	Оценочное средство результатов индикаторов достижений компетенций	Максимальное количество баллов	Критерии оценки знаний студентов
1 семестр			

КТ 1	Расчетно-графическая работа	10	<p>10 баллов - задачи решены в обозначенный преподавателем срок, письменный отчет без замечаний; работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности;</p> <p>8 баллов - задачи решены в обозначенный преподавателем срок, письменный отчет без замечаний; работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности и при наличии не более двух неточностей;</p> <p>7 баллов - задачи решены в обозначенный преподавателем срок, письменный отчет с небольшими недочетами;</p> <p>6 баллов - задачи решены в обозначенный преподавателем срок, письменный отчет содержит не более одной ошибки и (или) не более двух недочетов;</p> <p>4 баллов - задачи решены с задержкой, письменный отчет с недочетами; работа выполнена не полностью, но объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы;</p> <p>3 балла - работа выполнена не полностью (40 -50 %), либо письменный отчет содержит не более четырех ошибок и (или) не более восьми неточностей;</p> <p>2 балла - задачи решены частично, с большим количеством вычислительных ошибок; объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов;</p> <p>1 балл - работа выполнена на 20 - 30 %, либо в каждой задаче есть грубейшие ошибки;</p> <p>0 баллов - задачи не решены, письменный отчет не представлен или работа выполнена не полностью, и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов.</p>
------	-----------------------------	----	--

КТ 2	Расчетно-графическая работа	10	<p>10 баллов - задачи решены в обозначенный преподавателем срок, письменный отчет без замечаний; работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности;</p> <p>8 баллов - задачи решены в обозначенный преподавателем срок, письменный отчет без замечаний; работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности и при наличии не более двух неточностей;</p> <p>7 баллов - задачи решены в обозначенный преподавателем срок, письменный отчет с небольшими недочетами;</p> <p>6 баллов - задачи решены в обозначенный преподавателем срок, письменный отчет содержит не более одной ошибки и (или) не более двух недочетов;</p> <p>4 баллов - задачи решены с задержкой, письменный отчет с недочетами; работа выполнена не полностью, но объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы;</p> <p>3 балла - работа выполнена не полностью (40 -50 %), либо письменный отчет содержит не более четырех ошибок и (или) не более восьми неточностей;</p> <p>2 балла - задачи решены частично, с большим количеством вычислительных ошибок; объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов;</p> <p>1 балл - работа выполнена на 20 - 30 %, либо в каждой задаче есть грубейшие ошибки;</p> <p>0 баллов - задачи не решены, письменный отчет не представлен или работа выполнена не полностью, и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов.</p>
------	-----------------------------	----	--

КТ 3	Расчетно-графическая работа	10	<p>10 баллов - задачи решены в обозначенный преподавателем срок, письменный отчет без замечаний; работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности;</p> <p>8 баллов - задачи решены в обозначенный преподавателем срок, письменный отчет без замечаний; работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности и при наличии не более двух неточностей;</p> <p>7 баллов - задачи решены в обозначенный преподавателем срок, письменный отчет с небольшими недочетами;</p> <p>6 баллов - задачи решены в обозначенный преподавателем срок, письменный отчет содержит не более одной ошибки и (или) не более двух недочетов;</p> <p>4 баллов - задачи решены с задержкой, письменный отчет с недочетами; работа выполнена не полностью, но объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы;</p> <p>3 балла - работа выполнена не полностью (40 -50 %), либо письменный отчет содержит не более четырех ошибок и (или) не более восьми неточностей;</p> <p>2 балла - задачи решены частично, с большим количеством вычислительных ошибок; объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов;</p> <p>1 балл - работа выполнена на 20 - 30 %, либо в каждой задаче есть грубейшие ошибки;</p> <p>0 баллов - задачи не решены, письменный отчет не представлен или работа выполнена не полностью, и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов.</p>
------	-----------------------------	----	--

## Критерии и шкалы оценивания результатов обучения на промежуточной аттестации

При проведении итоговой аттестации «зачет» («дифференцированный зачет», «экзамен») преподавателю с согласия студента разрешается выставлять оценки («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «зачет») по результатам набранных баллов в ходе текущего контроля успеваемости в семестре по выше приведенной шкале.

В случае отказа – студент сдает зачет (дифференцированный зачет, экзамен) по приведенным выше вопросам и заданиям. Итоговая успеваемость (зачет, дифференцированный зачет, экзамен) не может оцениваться ниже суммы баллов, которую студент набрал по итогам текущей и промежуточной успеваемости.

При сдаче (зачета, дифференцированного зачета, экзамена) к заработанным в течение семестра студентом баллам прибавляются баллы, полученные на (зачете, дифференцированном зачете, экзамене) и сумма баллов переводится в оценку.

## Критерии и шкалы оценивания ответа на зачете

По дисциплине «Математическое моделирование технических систем» к зачету допускаются студенты, выполнившие и сдавшие практические работы по дисциплине, имеющие ежемесячную аттестацию и без привязке к набранным баллам. Студентам, набравшим более 65 баллов, зачет выставляется по результатам текущей успеваемости, студенты, не набравшие 65 баллов, сдают зачет по вопросам, предусмотренным РПД. Максимальная сумма баллов по промежуточной аттестации (зачету) устанавливается в 15 баллов

Вопрос билета	Количество баллов
Теоретический вопрос	до 5
Задания на проверку умений	до 5
Задания на проверку навыков	до 5

### Теоретический вопрос

5 баллов выставляется студенту, полностью освоившему материал дисциплины или курса в соответствии с учебной программой, включая вопросы рассматриваемые в рекомендованной программой дополнительной справочно-нормативной и научно-технической литературы, свободно владеющему основными понятиями дисциплины. Требуется полное понимание и четкость изложения ответов по экзаменационному заданию (билету) и дополнительным вопросам, заданных экзаменатором. Дополнительные вопросы, как правило, должны относиться к материалу дисциплины или курса, не отраженному в основном экзаменационном задании (билете) и выявляют полноту знаний студента по дисциплине.

4 балла заслуживает студент, ответивший полностью и без ошибок на вопросы экзаменационного задания и показавший знания основных понятий дисциплины в соответствии с обязательной программой курса и рекомендованной основной литературой.

3 балла дан недостаточно полный и недостаточно развернутый ответ. Логика и последовательность изложения имеют нарушения. Допущены ошибки в раскрытии понятий, употреблении терминов. Студент не способен самостоятельно выделить существенные и несущественные признаки и причинно-следственные связи. Студент может конкретизировать обобщенные знания, доказав на примерах их основные положения только с помощью преподавателя. Речевое оформление требует поправок, коррекции.

2 балла дан неполный ответ, представляющий собой разрозненные знания по теме вопроса с существенными ошибками в определениях. Присутствуют фрагментарность, нелогичность изложения. Студент не осознает связь данного понятия, теории, явления с другими объектами дисциплины. Отсутствуют выводы, конкретизация и доказательность изложения. Речь неграмотная. Дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя не приводят к коррекции ответа студента не только на поставленный вопрос, но и на другие вопросы дисциплины.

1 балл дан неполный ответ, представляющий собой разрозненные знания по теме вопроса с существенными ошибками в определениях. Присутствуют фрагментарность, нелогичность изложения. Студент не осознает связь данного понятия, теории, явления с другими объектами дисциплины. Отсутствуют выводы, конкретизация и доказательность изложения. Речь неграмотная. Дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя не приводят к коррекции ответа студента не только на поставленный вопрос, но и на другие вопросы дисциплины.

0 баллов - при полном отсутствии ответа, имеющего отношение к вопросу.

### Задания на проверку умений и навыков

5 баллов Задания выполнены в обозначенный преподавателем срок, письменный отчет без замечаний. Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности.

4 балла Задания выполнены в обозначенный преподавателем срок, письменный отчет с небольшими недочетами.

2 баллов Задания выполнены с задержкой, письменный отчет с недочетами. Работа выполнена не полностью, но объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы.

1 баллов Задания выполнены частично, с большим количеством вычислительных ошибок, объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов.

0 баллов Задания выполнены, письменный отчет не представлен или работа выполнена не полностью, и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов.

### 7.3. Примерные оценочные материалы для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины «Математическое моделирование технических систем»

#### 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:

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,

$V_i$ ,  $F_0$  — 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.

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.

## **8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

а) Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

### **основная**

Л1.1 Сурков Ф.А., Селютин В.В. Системный анализ и математическое моделирование сложных экологических и экономических систем. Теоретические основы и приложения [Электронный ресурс]: моногр. - Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета (ЮФУ), 2015. - 162 с. – Режим доступа: <http://new.znanium.com/go.php?id=989763>

Л1.2 Тарасик В. П. Математическое моделирование технических систем [Электронный ресурс]: учебник; ВО - Бакалавриат. - Москва: ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2020. - 592 с. – Режим доступа: <http://new.znanium.com/go.php?id=1042658>

Л1.3 Пискажова Т. В., Донцова Т. В., Даныкина Г. Б. Математическое моделирование объектов и систем управления [Электронный ресурс]: учеб. пособие ; ВО - Бакалавриат, Магистратура. - Красноярск: СФУ, 2020. - 230 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/181557>

Л1.4 Орлова И. В., Бич М. Г. Экономико-математическое моделирование [Электронный ресурс]: практ. пособие по решению задач в Excel и R ; ВО - Бакалавриат, Магистратура, Аспирантура. - Москва: Вузовский учебник, 2022. - 190 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/document?id=399268>

Л1.5 Гулай Т. А., Долгополова А. Ф., Жукова В. А., Мелешко С. В., Невидомская И. А. Математика: теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для студентов факультета агробиологии и земельных ресурсов. - Ставрополь: АГРУС, 2021. - 1,12 МБ

Л1.6 Балдин К. В., Башлыков В. Н., Рукосуев А. В. Теория вероятностей и математическая статистика [Электронный ресурс]: учебник; ВО - Бакалавриат. - Москва: Издательско-торговая корпорация "Дашков и К", 2023. - 472 с. – Режим доступа: <https://znanium.com/catalog/document?id=431997>

Л1.7 Тынкевич М. А. Введение в численный анализ [Электронный ресурс]: учеб. пособие; ВО - Бакалавриат. - Кемерово: КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2017. - 179 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/115170>

#### **дополнительная**

Л2.1 Голубева Н. В. Математическое моделирование систем и процессов [Электронный ресурс]: учеб. пособие ; ВО - Бакалавриат. - Санкт-Петербург: Лань, 2021. - 192 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/179611>

б) Методические материалы, разработанные преподавателями кафедры по дисциплине, в соответствии с профилем ОП.

Л3.1 Шабанов Г. И., Шамаев А. В. Вычислительные методы, математическое моделирование и сетевые технологии [Электронный ресурс]: учеб. пособие; ВО - Бакалавриат. - Саранск: МГУ им. Н.П. Огарева, 2020. - 112 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/204638>

### **9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

№	Наименование ресурса сети «Интернет»	Электронный адрес ресурса
1		<a href="http://www.math.ru/">http://www.math.ru/</a>
2		<a href="http://www.mathnet.ru/">http://www.mathnet.ru/</a>
3		<a href="http://window.edu.ru/catalog/">http://window.edu.ru/catalog/</a>
4		<a href="https://biblioclub.ru/">https://biblioclub.ru/</a>

### **10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Изучение дисциплины предусматривает проведение лекционных, практических занятий и самостоятельную работу студентов.

Курс «Математическое моделирование технических систем» изучается в первом семестре первого года обучения. Последовательность изложения разделов и тем курса «Математическое моделирование технических систем», количество часов на каждый раздел составляет в соответствии с потребностями в изучении разделов согласно общему учебному плану.

Цель лекционного курса – теоретическая подготовка студентов по математическому моделированию. В лекциях сообщаются основные сведения по данному курсу, излагаются методические проблемы и способы их решения с опорой на предыдущие знания студентов по разделам «Математический анализ», «Линейная алгебра», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Дискретная математика». Лекции готовят студентов к критическому анализу литературы, математических программ, учебников на разных ступенях обучения. Студенты знакомятся с взглядом на общую картину мира с точки зрения математического моделирования. Темы лекций плавно подводят студентов к четкому пониманию сущности математического

моделирования, их методической структуры и их применения в различных областях знаний. Чтение лекций сопровождается рассмотрением примеров, соответствующих основным положениям лекций и является логичным, наглядным, ориентированным на последующие приложения излагаемого материала в других дисциплинах.

Дальнейшее осмысление и уточнение знаний, приобретенных на лекциях, осуществляются на практических занятиях, цель которых – формирование умений применения усвоенных ранее знаний для практического решения задач.

На практических занятиях, проводимых по группам, студент овладевает основными методами и приемами решения задач, а также получает разъяснение теоретических положений курса. Практические задачи служат для закрепления теоретических основ, излагаемых в лекциях, получение практических навыков решения задач по курсу исследования операций. Занятия проходят с использованием рабочих тетрадей, в которых отражен необходимый минимум задач для освоения курса и тем.

Для понимания материала и качественного его усвоения рекомендуется такая последовательность действий:

1. После прослушивания лекции и окончания учебных занятий, при подготовке к занятиям следующего дня, нужно сначала просмотреть и обдумать текст лекции, прослушанной сегодня (10-15 минут).

2. При подготовке к лекции следующего дня, нужно просмотреть текст предыдущей лекции, подумать о том, какая может быть тема следующей лекции (10-15 минут).

3. В течение недели выбрать время (1-час) для работы с литературой в библиотеке.

4. При подготовке к практическим занятиям следующего дня, необходимо сначала прочитать основные понятия и подходы по теме домашнего задания. При выполнении упражнения или задачи нужно сначала понять, что требуется в задаче, какой теоретический материал нужно использовать, наметить план решения задачи.

Советы по подготовке к зачету.

Дополнительно к изучению конспектов лекции необходимо пользоваться учебником. Кроме «заучивания» материала, очень важно добиться состояния понимания изучаемых тем дисциплины. С этой целью рекомендуется после изучения очередного параграфа выполнить несколько упражнений на данную тему. Кроме того, очень полезно мысленно задать себе следующие вопросы (и попробовать ответить на них): о чем этот параграф?, какие новые понятия введены, каков их смысл?, что даст это на практике?.

При подготовке к зачету нужно изучить теорию: определения всех понятий и подходы к оцениванию до состояния понимания материала и самостоятельно решить по несколько типовых задач из каждой темы. При решении задач всегда необходимо уметь качественно интерпретировать итог решения.

Указания по организации работы с контрольно-измерительными материалами, по выполнению домашних заданий.

При выполнении домашних заданий необходимо сначала прочитать основные понятия и подходы по теме задания. При выполнении упражнения или задачи нужно сначала понять, что требуется в задаче, какой теоретический материал нужно использовать, наметить план решения задачи, а затем приступить к расчетам и сделать качественный вывод.

## **11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства и информационных справочных систем (при необходимости).**

### *11.1 Перечень лицензионного программного обеспечения*

1. Kaspersky Total Security - Антивирус

2. Microsoft Windows Server STDCORE AllLngLicense/Software AssurancePack Academic OLV 16Licenses LevelE AdditionalProduct CoreLic 1Year - Серверная операционная система

3. OPERA - Система управления отелем

4. Fidelio - Подсистема интеграции с партнерами и GDS. инструмент для интеграции системы бронирования отеля с различными партнерскими сетями и системами глобальной дистрибуции (GDS).

5. Аппаратно-программный комплекс «ARGUS-KARYO» -

11.3 Перечень программного обеспечения отечественного производства

1. Kaspersky Total Security - Антивирус

2. Аппаратно-программный комплекс «ARGUS-KARYO» -

При осуществлении образовательного процесса студентами и преподавателем используются следующие информационно справочные системы: СПС «Консультант плюс», СПС «Гарант».

**12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

№ п/п	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Номер аудитории	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1	Учебная аудитория для проведения занятий всех типов (в т.ч. лекционного, семинарского, практической подготовки обучающихся), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	13/ФВ М	Специализированная мебель на 30 посадочных мест, персональный компьютер – 1 шт., доска учебная - 1 шт., учебно-наглядные пособия в виде презентаций, тематические плакаты
		13/ФВ М	Специализированная мебель на 30 посадочных мест, персональный компьютер – 1 шт., доска учебная - 1 шт., учебно-наглядные пособия в виде презентаций, тематические плакаты
2	Помещение для самостоятельной работы обучающихся, подтверждающее наличие материально-технического обеспечения, с перечнем основного оборудования		
		Читальный зал научной библиотеки	Специализированная мебель на 100 посадочных мест, персональные компьютеры – 56 шт., телевизор – 1шт., принтер – 1шт., цветной принтер – 1шт., копировальный аппарат – 1шт., сканер – 1шт., Wi-Fi оборудование, подключение к сети «Интернет», доступ в электронную информационно-образовательную среду университета, выход в корпоративную сеть университета.

### 13. Особенности реализации дисциплины лиц с ограниченными возможностями здоровья

Обучающимся с ограниченными возможностями здоровья предоставляются специальные учебники и учебные пособия, иная учебная литература, специальные технические средства обучения коллективного и индивидуального пользования, предоставление услуг ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь, а также услуги сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

а) для слабовидящих:

- на промежуточной аттестации присутствует ассистент, оказывающий студенту необходимую техническую помощь с учетом индивидуальных особенностей (он помогает занять рабочее место, передвигаться, прочесть и оформить задание, в том числе записывая под диктовку);

- задания для выполнения, а также инструкция о порядке проведения промежуточной аттестации оформляются увеличенным шрифтом;

- задания для выполнения на промежуточной аттестации зачитываются ассистентом;

- письменные задания выполняются на бумаге, надиктовываются ассистенту;

- обеспечивается индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс;

- студенту для выполнения задания при необходимости предоставляется увеличивающее устройство;

в) для глухих и слабослышащих:

- на промежуточной аттестации присутствует ассистент, оказывающий студенту необходимую техническую помощь с учетом индивидуальных особенностей (он помогает занять рабочее место, передвигаться, прочесть и оформить задание, в том числе записывая под диктовку);

- промежуточная аттестация проводится в письменной форме;

- обеспечивается наличие звукоусиливающей аппаратуры коллективного пользования, при необходимости поступающим предоставляется звукоусиливающая аппаратура индивидуального пользования;

- по желанию студента промежуточная аттестация может проводиться в письменной форме;

д) для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата (тяжелыми нарушениями двигательных функций верхних конечностей или отсутствием верхних конечностей):

- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением или надиктовываются ассистенту;

- по желанию студента промежуточная аттестация проводится в устной форме.

Рабочая программа дисциплины «Математическое моделирование технических систем» составлена на основе Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования - магистратура по направлению подготовки 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов (приказ Минобрнауки России от 07.08.2020 г. № 906).

Автор (ы)

\_\_\_\_\_ профессор , д.ф-м.н Симоновский Александр Яковлевич

Рецензенты

\_\_\_\_\_ доцент , к.ф-м.н Захаров Владимир Викторович

\_\_\_\_\_ доцент , к.т.н Литвин Дмитрий Борисович

Рабочая программа дисциплины «Математическое моделирование технических систем» рассмотрена на заседании Кафедра математики протокол № 27 от 10.03.2025 г. и признана соответствующей требованиям ФГОС ВО и учебного плана по направлению подготовки 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Крон Роман Викторович

Рабочая программа дисциплины «Математическое моделирование технических систем» рассмотрена на заседании учебно-методической комиссии Институт механики и энергетики протокол № от г. и признана соответствующей требованиям ФГОС ВО и учебного плана по направлению подготовки 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Руководитель ОП \_\_\_\_\_