

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Выборнова Любовь Алексеевна
Должность: Ректор
Дата подписания: 15.09.2025 10:05:04
Уникальный программный ключ:
c3b3b9c625f6c113afa2a2c42baff9e05a38b76e

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный университет сервиса» (ФГБОУ ВО «ПВГУС»)

УТВЕРЖДЕНО

на заседании Ученого совета

Высшей школы передовых производственных технологий

Протокол от 26.09.2025 г. № 1

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
(фонд оценочных средств) для проведения промежуточной аттестации
по дисциплине

«Математическое моделирование»

наименование дисциплины

по образовательной программе высшего образования – программе

магистратуры

бакалавриата, специалитета,
магистратуры

«Инжиниринг технологических инноваций»

наименование образовательной программы

15.04.02 «Технологические машины и оборудование»

шифр, наименование направления подготовки / специальности

Составитель

Воловач В.И.,
Директор, Высшая школа передовых производственных технологий, д.т.н., доцент

ФИО, должность, структурное подразделение,
ученая степень, ученое звание

Тольятти
2025

1. Паспорт фонда оценочных средств (далее – ФОС)

1.1. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Код компетенции	Наименование компетенции	Код и наименование индикаторов достижения компетенции
ОПК-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки результатов исследования	ИОПК-1.3. Осуществляет теоретическое обобщение научных данных, результатов экспериментов и наблюдений
ОПК-5	Способен разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов	ИОПК-5.1 Демонстрирует знания по разработке аналитических и численных методов при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов ИОПК-5.2 Демонстрирует навык создания прикладных программ расчета

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

знать:

- методологические основы системного анализа, применяемые при постановке задач математического моделирования современных технологических машин и комплексов;
- принципы декомпозиции комплексных научно-технических проблем машиностроения на систему локальных, взаимосвязанных расчетных задач;
- классификацию, структуру целевых функций и критерии эффективности, используемые для комплексной оценки работоспособности технологического оборудования;
- методы экспертных оценок, ранжирования и выявления приоритетов при планировании инженерных и научно-исследовательских работ;
- положения теории подобия и анализа размерностей как базис для обоснованного выбора критериев оценки результатов численного моделирования
- теоретические основы формирования систем дифференциальных, интегральных и алгебраических уравнений, описывающих динамику исполнительных механизмов и приводов технологического оборудования;
- современные численные методы аппроксимации и интегрирования уравнений, включая метод конечных элементов, метод конечных разностей и схемы Рунге - Кутты;
- математические модели и схемы замещения типовых гидравлических, пневматических и электрических приводов, используемых в конструкциях технологических машин;
- фундаментальные законы сохранения (массы, количества движения, энергии), составляющие основу комплексного моделирования взаимосвязанных технологических процессов;
- критерии и условия устойчивости, а также сходимости численных алгоритмов, применяемых при решении жестких систем дифференциальных уравнений

уметь:

- формулировать цели и задачи математического исследования на основе анализа реальных производственных проблем и условий работы оборудования;
- строить иерархические структуры задач моделирования - от базовых аналитических оценок до комплексных сопряженных мультифизических расчетов;
- аргументировано выбирать математический аппарат, граничные условия и систему допущений, адекватных специфике исследуемых процессов;
- разрабатывать интегральные критерии оценки результатов моделирования, объединяющие технико-экономические, прочностные и энергетические параметры;
- сопоставлять и анализировать разнородные выходные данные моделирования для принятия оптимальных проектно-конструкторских или эксплуатационных решений
- выводиться аналитические зависимости для базовых элементов машин и приводов на основе принципов теоретической механики и механики сплошных сред;

- разрабатывать пошаговые вычислительные алгоритмы для численной реализации нестандартных и оригинальных математических моделей;
- интегрировать разнородные физические процессы (включая сопряженные термомеханические и электрогидравлические задачи) в единую систему уравнений;
- самостоятельно программно реализовывать расчетные модули на базе созданных аналитических соотношений и численных методов;
- обосновывать и выбирать оптимальные параметры расчетной сетки и шага интегрирования для обеспечения требуемой точности и стабильности вычислений

владеть

- концептуальным проектированием расчетных моделей на этапе формирования и согласования технических заданий (ТЗ) на проектирование машин;
- применением методик многокритериальной оптимизации конструктивных и режимных параметров технологического оборудования;
- верификацией и валидацией результатов численного моделирования с использованием расчетных критериев сходимости и точности;
- ранжированием рисков и оценки погрешностей при интерпретации данных, полученных в ходе компьютерного анализа (CAE-системы);
- навыками публичной защиты, научной аргументации и отстаивания выбранной стратегии моделирования перед инженерным и академическим сообществом
- использованием инструментария аналитических вычислений и символьных преобразований в специализированных программных средах (Wolfram Mathematica, Maple, библиотека SymPy для языка Python);
- созданием оригинального программного кода и расчетных скриптов для численного моделирования (в средах MATLAB / Simulink, Octave или общего назначения - Python, C++);
- применением методик линеаризации нелинейных уравнений реальных приводных систем с целью проведения их предварительного качественного анализа;
- построением обобщенных макромоделей (субмоделей) технологических процессов для их последующей интеграции в профессиональные CAE-комплексы;
- методологией отладки, тестирования и верификации собственных вычислительных алгоритмов на эталонных и академических задачах

1.2. Содержание дисциплины

№	Тема (раздел дисциплины) (в соответствии с РПД)	Код компетенции
1	ТЕМА 1. Основные понятия моделирования объектов и систем	ОПК-1; ОПК-5
2	ТЕМА 2. Историческое развитие методов компьютерного моделирования технологических машин, оборудования и технологических процессов	
3	ТЕМА 3. Типы математических моделей технологических машин, оборудования и технологических процессов	
4	ТЕМА 4. Общие принципы создания математических моделей технологических машин, оборудования и технологических процессов при помощи специализированных программных средств	
5	ТЕМА 5. Построение моделей технологических машин, оборудования и технологических объектов с применением метода конечных элементов	
6	ТЕМА 6. Моделирование типовых технологических процессов и аппаратов с использованием цифровых технологий	
7	ТЕМА 7. Моделирование систем управления технологическими машинами, оборудованием и технологическими процессами	
8	ТЕМА 8. Усовершенствование системы контроля, управления и автоматизации	

1.3. Система оценивания по дисциплине

Дисциплина изучается в течение одного семестра

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

Шкала оценки уровня сформированности компетенций		Шкала оценки уровня освоения дисциплины	
Уровневая шкала оценки компетенций	100 балльная шкала, %	100 балльная шкала, %	недифференцированная оценка
Допороговый	ниже 61	ниже 61	неудовлетворительно
Пороговый	61-85.9	61-69.9	удовлетворительно
		70-85.9	хорошо
Повышенный	86-100	86-100	отлично

2. Перечень оценочных материалов для проведения промежуточной аттестации

Контроль и оценка результатов освоения дисциплины осуществляется преподавателем в ходе текущего контроля успеваемости (в процессе проведения практических занятий, тестирования, опросов).

В ходе проведения экзамена осуществляется итоговый контроль и оценка результатов освоения компетенций.

Вопросы для подготовки к экзамену

№	Содержание вопроса
ОПК-1 Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки результатов исследования	
1.	В чем заключается специфика применения системного анализа при формулировании целей математического моделирования технологического оборудования?
2.	Каковы основные правила декомпозиции комплексной научно-технической проблемы в машиностроении на локальные расчетные задачи?
3.	Что такое целевая функция и чем она отличается от ограничений, накладываемых на математическую модель машины?
4.	Какова классификация критериев эффективности, применяемых для оценки работы сложного технологического оборудования?
5.	В каких случаях при выявлении приоритетов инженерных задач целесообразно использовать методы экспертных оценок (например, метод Дельфи или метод анализа иерархий)?
6.	Как теория подобия и размерностей используется для формирования критериев оценки результатов численного моделирования?
7.	Дайте определение понятию «расчетная схема» и опишите принципы идеализации реальных конструкций машин.
8.	Чем отличаются понятия «верификация» (verification) и «валидация» (validation) при оценке точности математической модели?
9.	Какие основные типы погрешностей (ошибок) возникают на этапе построения концептуальной модели технологической системы?
10.	Что понимается под многокритериальной оптимизацией и почему в реальном машиностроении редко существует одно идеальное решение?
11.	Какие основные типы шкал (номинальная, порядковая, интервальная и др.) используются для измерения критериев оценки результатов исследования?
12.	Как формулируются граничные и начальные условия при переводе физической задачи в математическую плоскость?
13.	В чем суть принципа Парето (множества Парето) при выборе приоритетов и оптимальных решений в инженерных исследованиях?
14.	Какие технико-экономические критерии чаще всего закладываются в целевые функции при модернизации парка оборудования?

15.	Опишите алгоритм трансформации абстрактной производственной проблемы (например, «высокий уровень вибрации станины») в четкую научную цель и задачи моделирования.
16.	Каким образом исследователь должен выстраивать иерархию задач при переходе от простых аналитических оценок к связанным мультифизичным КЭ-расчетам?
17.	Как правильно обосновать выбор конкретного математического аппарата (например, дифференциальных уравнений в частных производных против обыкновенных ДУ) для решения поставленной задачи?
18.	Предложите комплексный набор критериев (не менее трех видов) для оценки результатов моделирования процесса термической обработки или наплавки детали..
19.	Каким образом можно сопоставить разнородные параметры моделирования (например, массу конструкции в килограммах и жесткость в Н/мм) для принятия итогового инженерного решения?
20.	Как на этапе постановки задач выявить скрытые взаимосвязи между подсистемами машины (например, тепловым расширением деталей и зазорами в подшипниках)?
21.	Опишите способ ранжирования задач исследования по степени их влияния на конечную энергоэффективность технологической линии.
22.	Какую стратегию выбора допущений вы примените, если перед вами стоит задача смоделировать динамику пуска тяжелого привода за ограниченное время вычислений?
23.	Как сформировать интегральный (обобщенный) критерий оценки качества работы машины, если частные критерии противоречат друг другу?
24.	Как доказать, что выбранные вами критерии оценки результатов исследования являются репрезентативными и объективными?
25.	Каким образом переформулировать задачи исследования, если в процессе промежуточных расчетов модель показала неустойчивость численного алгоритма?
26.	Опишите процесс выбора приоритетных факторов при планировании многофакторного виртуального эксперимента на модели оборудования.
27.	Как корректно интерпретировать расхождение в 15% между результатами численного моделирования прочности вала и данными натурного тензометрирования?
28.	Какими инструментами и методологией вы владеете для составления технического задания (ТЗ) на проведение компьютерного моделирования узла машины?
29.	Опишите ваш опыт использования программных средств (MATLAB, Python, Excel и др.) для свертки векторного критерия эффективности в скалярный при оптимизации оборудования.
30.	Какими методами ранжирования рисков и погрешностей численного моделирования (CAE) вы владеете применительно к оценке надежности конструкций?
31.	Как на практике реализовать процедуру проверки сходимости расчетной сетки (МКЭ) как одного из критериев точности результатов исследования?
32.	Опишите методику защиты и аргументации выбранной вами стратегии моделирования перед научным руководителем или техническим советом предприятия.
33.	Какими способами линеаризации нелинейных характеристик оборудования вы владеете для проведения экспресс-анализа на этапе целеполагания?
34.	Каков ваш алгоритм действий при обнаружении логического разрыва между целями исследования и полученными критериями оценки в готовой модели?
35.	Опишите опыт построения графа связей сложной технологической системы для визуализации приоритетности решения локальных задач.
36.	Какими методами теории чувствительности вы владеете для определения параметров машины, оказывающих наибольшее влияние на критерий оптимальности?
37.	Как на практике применить метод анализа иерархий (Саати) для выбора лучшего конструктивного варианта технологического агрегата по результатам моделирования?
38.	Какими нормативными документами, ГОСТами или международными стандартами (ISO/ASME) вы руководствуетесь при формировании требований к точности компьютерных моделей?
39.	Каким инструментарием автоматизации (скрипты, макросы) вы владеете для проведения серии расчетов при поиске экстремума целевой функции оборудования?
40.	Как вы сформулируете выводы научного исследования, чтобы они напрямую отражали степень выполнения задач, поставленных на первом этапе работы?

ОПК-5 Способен разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов	
41.	Каковы базовые этапы аналитического вывода дифференциальных уравнений движения сложных механических систем машин?
42.	В чем заключается фундаментальное различие между явными (Explicit) и неявными (Implicit) численными методами интегрирования уравнений динамики оборудования?
43.	Какие законы механики сплошных сред лежат в основе математических моделей термомеханических процессов в деталях машин?
44.	Что такое «жесткие» системы дифференциальных уравнений (Stiff ODEs) и какие численные методы применяются для их решения в задачах моделирования приводов?
45.	Сформулируйте суть метода конечных элементов (МКЭ) применительно к расчету напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов оборудования.
46.	Какие численные методы используются для поиска собственных частот и форм колебаний несущих систем технологических машин в задачах модального анализа?
47.	Каковы условия устойчивости Куранта-Фридрихса-Леви (CFL) при численном моделировании быстропротекающих динамических процессов?
48.	В чем различие между линейными и нелинейными математическими моделями исполнительных механизмов технологического оборудования?
49.	Каковы основные математические способы описания нестационарных тепловых процессов в термонагруженных узлах трения машин?
50.	Что такое аппроксимация, сходимость и устойчивость численного метода при решении уравнений математической модели?
51.	Какие типы конечных элементов (по геометрии и порядку аппроксимации) предпочтительны для точного аналитического описания изгибных деформаций станин машин?
52.	Как математически описывается явление демпфирования (рассеяния энергии) в динамических моделях механических систем оборудования?
53.	Какие методы аппроксимации функций (интерполяция сплайнами, метод наименьших квадратов) используются для обработки экспериментальных данных при построении полуэмпирических моделей?
54.	Какова математическая структура модели гидро- или пневмопривода технологической машины в сосредоточенных параметрах?
55.	Сформируйте пошаговый алгоритм аналитического вывода уравнений баланса сил для рычажного или кулисного механизма машины.
56.	Каким образом можно составить численную схему решения нелинейного уравнения жесткости методом Ньютона-Рафсона в САЕ-системах?
57.	Опишите процедуру линеаризации нелинейной характеристики гидропривода или упругой муфты в окрестности рабочей точки.
58.	Как составить разностную схему (метод конечных разностей) для одномерного уравнения распределения температур по толщине стенки корпуса машины?
59.	Продемонстрируйте алгоритм выбора оптимального шага интегрирования по времени для расчета переходного процесса в электроприводе оборудования.
60.	Как правильно задать условия механического контакта типа «трение/скольжение» между ползуном и направляющими станины в численной модели?
61.	Опишите порядок преобразования системы дифференциальных уравнений высокого порядка, описывающих динамику оборудования, в систему уравнений первого порядка в пространстве состояний.
62.	Каким образом увязать в единую численную модель тепловое расширение вала и изменение зазоров в подшипниковых узлах машины?
63.	Как составить математический алгоритм проверки численной модели машины на чувствительность к изменению упруго-диссипативных свойств материалов?
64.	Опишите способ численного моделирования процесса изнашивания рабочего органа машины при циклическом контакте с обрабатываемым материалом.
65.	Как перевести экспериментальную гистограмму нагружения главного вала машины в аналитическую функцию плотности распределения вероятностей для стохастического моделирования?
66.	Каким образом настроить численный решатель МКЭ для предотвращения эффекта «объемного запираания» (Volumetric Locking) при моделировании несжимаемых поли-

	мерных деталей оборудования?
67.	Как составить математическую модель ограничения перемещения (жесткого упора с ударом) в кинематической паре технологического оборудования?
68.	Какими инструментами систем компьютерной алгебры (Wolfram Mathematica, Maple, SymPy) вы владеете для автоматического вывода матриц жесткости и масс механизмов?
69.	Опишите ваш опыт программирования кастомных численных методов (например, метода Рунге-Кутты 4-го порядка) в средах MATLAB или Python.
70.	Какими методами аппроксимации экспериментальных кривых (полиномиальная регрессия, нейросети) для создания суррогатных макромоделей оборудования вы владеете?
71.	Расскажите о практике применения специализированных решателей для жестких систем (например, Radau или BDF в библиотеке <code>scipy.integrate</code>) при моделировании следящих приводов.
72.	Какими навыками программирования пользовательских подпрограмм (User Subroutines: например, UMAT в Abaqus или USERMAT в ANSYS) вы владеете для описания нестандартных свойств конструкционных материалов?
73.	Опишите методику отладки программного кода численного расчета при возникновении вычислительных аномалий (NaN, деление на ноль, расхождение СЛАУ).
74.	Опишите методику отладки программного кода численного расчета при возникновении вычислительных аномалий (NaN, деление на ноль, расхождение СЛАУ).
75.	Каким образом вы реализуете на практике верификацию разработанного численного метода решения краевой задачи?
76.	Какими методами редукции матриц (например, методом Крейга-Бемптона) для ускорения численного расчета крупногабаритного оборудования вы владеете?
77.	Опишите ваш опыт использования технологий параллельных вычислений (OpenMP, MPI) при реализации собственных численных алгоритмов моделирования машин.
78.	Какими инструментами автоматического контроля шага интегрирования по времени (например, по локальной ошибке усечения ЛЕУ) вы пользуетесь в моделирующих программах?
79.	Каким образом на практике вы организуете экспорт и импорт данных между аналитическим софтом (MATLAB/Python) и конечно-элементными комплексами (CAE)?
80.	Какими способами аппроксимации геометрической нелинейности (больших перемещений и поворотов) деталей машин вы владеете при разработке расчетных кодов?