

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Костромской государственный университет»  
(КГУ)

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ДИНАМИКА МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Направление подготовки: 15.04.02 Технологические машины и оборудование

Направленность: Инновации и рынок машин и оборудования

Квалификация выпускника: Магистр

**Кострома  
2023**

Рабочая программа дисциплины **Динамика механико-технологических систем** разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по направлению 15.04.02 Технологические машины и оборудование, № 1026 от 14.08.2020 г.

Разработал: Рудовский П.Н., д.т.н., профессор каф. ТММ, ДМ и ПТМ

Рецензент: Громова Е.И., к.т.н., доцент каф. ТММ, ДМ и ПТМ

ПРОГРАММА УТВЕРЖДЕНА:

На заседании кафедры ТММ, ДМ и ПТМ

Протокол заседания кафедры № 5 от 31.01 2023 г.

Заведующий кафедрой ТММ, ДМ и ПТМ

Корабельников Андрей Ростиславович, д.т.н., профессор

## 1. Цели и задачи освоения дисциплины

### Цель дисциплины:

Формирование знаний и умений в области динамики механико-технологических систем, представляющих собой совокупность машин, механизмов и перерабатываемого продукта (материала), взаимовлияющих друг на друга.

### Задачи дисциплины:

- усилить фундаментальную инженерную подготовку специалистов-механиков в части грамотного проектирования, обслуживания и продвижения на рынке высокоскоростного оборудования текстильной и легкой промышленности;
- обеспечить обучающихся углубленными знаниями в части динамического взаимодействия рабочих органов машин с перерабатываемым материалом;
- научить магистрантов различным методам динамического моделирования технологического оборудования и происходящих в нем процессов.

## 2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

### В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

#### знать:

- динамические характеристики объектов и осуществлять их приведение;
- методы линеаризации динамических моделей и уметь их применять;
- методы разработки алгоритмов и программ моделирования динамических систем.

#### уметь:

- разрабатывать динамические модели механико-технологических систем;
- измерять динамические характеристики объектов моделирования;
- разрабатывать программы для анализа динамических систем.

#### владеть:

- методами теоретического и экспериментального измерения массово-инерционных параметров и упруго-вязких характеристик элементов динамических систем;
- методами разработки динамических моделей;
- методами приведения параметров динамических моделей к отдельным звеньям;
- методами создания алгоритмов и программ, описывающих динамику механико-технологических систем, и оптимизации динамических моделей и режимов путем компьютерного моделирования.

#### освоить компетенции:

ПК-1 Способен участвовать в создании новых технологий и оборудования для различных областей деятельности человека

#### Код и содержание индикаторов компетенции:

ИПК-1.1 Знает методы разработки новых технологий и оборудования

ИПК-1.2 Участвует в создании новых технологий и оборудования

ИПК-1.3 Способен применять знания для создания новых технологий и оборудования для различных областей

### 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Дисциплина относится к дисциплинам вариативной части учебного плана. Изучается во 2-м семестре обучения.

Изучение дисциплины основывается на знаниях, полученных при изучении дисциплин общенаучного и специального циклов бакалавриата:

- Высшая математика;
- Теоретическая механика;
- Моделирование и решение инженерных задач на ЭВМ;
- Свойства материалов;
- Сопротивление материалов;
- Инженерные приложения теории упругости;
- Теория механизмов и машин;
- Динамика механизмов и машин;
- Технологии, технологические машины и оборудование;
- Расчет и конструирование технологических машин;
- Проектирование технологических машин.

Дисциплина является одной из основных дисциплин, обеспечивающих инновационный подход к технической оценке технологического оборудования, и является основой для изучения следующих дисциплин магистратуры:

- Методы создания и проектирования машин;
- Частотный и временной анализ механических процессов;
- Техническое и программное обеспечение САПР технологического оборудования.

### 4. Объем дисциплины (модуля)

#### 4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием академических (астрономических) часов и виды учебной работы

<b>Виды учебной работы:</b>	<b>Очная форма</b>
Общая трудоемкость в зачетных единицах	2
Общая трудоемкость в часах	72
Аудиторные занятия в часах, в том числе:	18
Лекции	18
Практические занятия	
Лабораторные занятия	
Самостоятельная работа в часах	54
Форма промежуточной аттестации	зачет

#### 4.2. Объем контактной работы на 1 обучающегося

<b>Виды учебных занятий</b>	<b>Очная форма</b>
Лекции	18
Практические занятия	
Лабораторные занятия	
Консультации	
Зачет/зачеты	
Экзамен/экзамены	
Курсовые работы	
Курсовые проекты	
<b>Всего</b>	<b>18</b>

## 5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам), с указанием количества часов и видов занятий

### 5.1 Тематический план учебной дисциплины

№	Название раздела, темы	Всего з.е/час	Аудиторные занятия			Самост. работа
			Лекц.	Практ.	Лаб.	
1	Понятие механико-технологической системы		2			
2	Простейшая динамическая модель механико-технологической системы		2			
3	Механико-технологическая система как система с переменными параметрами		2			
4	Технологическая машина как машинный агрегат		4			
5	Методы оценки динамических свойств механико-технологических систем		4			
6	Моделирование динамики механико-технологических систем		4			
<b>Итого:</b>		<b>72</b>	<b>18</b>			

### 5.2. Содержание:

#### **Понятие механико-технологической системы:**

- роль перерабатываемого материала в механико-технологической системе;
- влияние сил полезного сопротивления на динамику машины;
- механико-технологическая система как динамический объект;
- вибрационные машины;
- центрифуги, сепараторы, грохоты;
- машины легкой промышленности;
- машины прядильного производства;
- машины ткацкого производства.

#### **Простейшая динамическая модель механико-технологической системы:**

- уравнение динамического равновесия Лагранжа и его формы;
- влияние внешних воздействий на динамическую систему;
- перерабатываемый материал как демпфирующий элемент;
- перерабатываемый материал как внешний возбудитель колебаний;
- перерабатываемый материал как возбудитель параметрических колебаний;
- влияние перерабатываемого материала на динамическую жесткость колебательной системы;
- характерные нелинейности одномассовой динамической модели механико-технологической системы;
- основные методы линеаризации параметров одномассовой динамической модели;
- методы приведения параметров динамической системы к одномассовой модели.

#### **Механико-технологическая система как система с переменными параметрами:**

- классификация механико-технологических систем технологических машин с точки зрения динамики;
- расчет упругих элементов вибрационных машин;
- расчет обечаек барабанов и центрифуг;
- изгибные колебания гибких валов с сосредоточенными массами;
- статическая и динамическая балансировка роторов;
- эффект самовыравнивания роторных систем;
- фрикционные механизмы, автоколебания;
- крутильные колебания валов, их влияние на качество продукции;
- сухое трение как возбудитель колебаний в системах с гибкими звеньями.

### **Технологическая машина как машинный агрегат:**

- методы агрегатирования механизмов;
- перерабатываемый материал как связующее звено между механизмами;
- особенности технологических машин как динамических систем циклического действия разветвленной структуры;
- взаимовлияние рабочих органов в технологических машинах;
- неравномерность хода главного вала машины, причины ее возникновения и методы учета при проектировании отдельных механизмов;
- переходные процессы в машинах;
- соотношение мощностей привода для стационарного и переходного режимов;
- эффект Зоммерфельда и его проявления в машинах;
- оптимизация рабочих режимов машинного агрегата циклического действия.

### **Методы оценки динамических свойств механико-технологических систем:**

- классификация динамических свойств механико-технологических систем и их компонентов;
- зависимость динамических свойств механико-технологической системы от технологических режимов;
- экспериментальные методы определения динамических свойств перерабатываемого материала.

### **Моделирование динамики механико-технологических систем:**

- принципы моделирования динамики механико-технологических систем;
- математические методы и функциональные блоки в алгоритмах моделей динамики;
- разработка и анализ обобщенной модели динамики машинного агрегата;
- программные средства динамического моделирования.

## **6. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины**

### **6.1. Самостоятельная работа обучающихся по дисциплине (модулю)**

<b>№ п/п</b>	<b>Раздел (тема) дисциплины</b>	<b>Задание</b>	<b>Часы</b>	<b>Методические рекомендации по выполнению задания</b>	<b>Форма контроля</b>
1	Понятие механико-технологической системы	Изучить роль перерабатываемого материала в механико-технологической системе и влияние сил полезного сопротивления на динамику машины; оценить механико-технологическую систему как динамический объект на примерах вибрационных машин, центрифуг, сепараторов, грохотов и машины легкой и текстильной промышленности.	24	Изучение литературных источников 1, 3 – 12.	Устный опрос
2	Простейшая динамическая модель механико-технологической системы	Изучить структуру и формы уравнения динамического равновесия, влияние внешних воздействий на динамическую систему; оценить перерабатываемый материал как демпфирующий элемент, как внешний возбудитель колебаний и как возбудитель параметрических колебаний; оценить влияние перерабатываемого материала на динамическую жесткость; изучить характерные нелинейности одномассовой динамической модели механико-технологической системы, основные методы линеаризации ее параметров и методы их приведения.	24	Изучение литературных источников 1 – 3, 11 – 14.	Устный опрос
3	Механико-технологическая система как система с переменными параметрами	Изучить классификация технологических машин с точки зрения динамики, методы расчета упругих элементов вибрационных машин, обечаек барабанов и центрифуг, гибких валов с сосредоточенными массами на изгибные колебания, методы статической и динамической балансировка роторов, изучить эффект самовыравнивания роторных систем, причины возникновения автоколебаний в фрикционных механизмах, крутильные колебания валов и их влияние	24	Изучение литературных источников 1 – 3, 10 – 14.	Устный опрос

		на качество продукции, возбуждение колебаний в системах с гибкими звеньями под влиянием сухого трения.			
4	Технологическая машина как машинный агрегат	Изучить методы агрегатирования механизмов, влияние перерабатываемого материала как связующего звена между механизмами, особенности технологических машин как динамических систем циклического действия разветвленной структуры, взаимовлияние рабочих органов в технологических машинах, причины возникновения неравномерности вращения главного вала машины и методы ее учета при проектировании отдельных механизмов, переходные процессы в машинах, соотношение мощностей привода для стационарного и переходного режимов, сущность эффекта Зоммерфельда и причины его проявления в машинах, методы оптимизации рабочих режимов машинного агрегата циклического действия.	16	Изучение литературных источников 1 – 4, 10 – 14.	Устный опрос
5	Методы оценки динамических свойств механико-технологических систем	Изучить классификацию динамических свойств механико-технологических систем и их компонентов, зависимость динамических свойств механико-технологической системы от технологических режимов и экспериментальные методы определения динамических свойств перерабатываемого материала.	10	Изучение литературных источников 1, 10 – 12.	Устный опрос
6	Моделирование динамики механико-технологических систем	Изучить принципы моделирования динамики механико-технологических систем, математические методы и функциональные блоки в алгоритмах моделей динамики, методы разработки и анализа обобщенной модели динамики машинного агрегата и программные средства динамического моделирования	14	Изучение литературных источников 2, 11 – 14.	Устный опрос

## 6.2. Тематика и задания для практических занятий

### 6.3. Тематика и задания для лабораторных занятий

1. Анализ вибрационных, сепараторных и центрифугальных машин как динамических объектов.
2. Анализ машин легкой промышленности как механико-технологических систем.
3. Анализ машин прядильного производства как механико-технологических систем и динамических объектов.
4. Анализ машин ткацкого производства как механико-технологических систем и объектов динамики.
5. Анализ уравнения динамического равновесия Лагранжа в формах баланса энергий, сил и ускорений для силового и кинематического возмущения.
6. Разработка алгоритма и программы расчета и построения амплитудно-частотных характеристик и фазовых портретов для линейной одномассовой колебательной системы при кинематическом и силовом возмущении.
7. Исследование одномассовой линейной колебательной системы при кинематическом и силовом возмущении с использованием разработанных программных средств.
8. Исследование поперечных колебаний гибкого вала с массивным ротором.
9. Проведение балансировки барабана.
10. Построение и анализ циклограммы машины циклического действия разветвленной структуры.
11. Исследование осциллограммы натяжения основы и ткани на ткацком станке.
12. Исследование автоколебаний, обусловленных сухим трением.
13. Исследование крутильных колебаний длинных многоопорных валов.
14. Исследование неравномерности вращения (хода) главного вала ткацкого станка.
15. Определение приведенного момента инерции масс и динамической жесткости конкретной технологической машины.
16. Построение динамической модели и ее математического описания для конкретной

технологической машины.

- Выбор метода и разработка алгоритма решения уравнений динамики математического описания разработанной модели.

#### 6.4. Методические рекомендации для выполнения курсовых работ (проектов)

### 7. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Основная литература	
1.	<b>Методы управления нелинейными механическими системами / Ф.Л. Черноушко, И.М. Ананьевский, С.А. Решмин. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 328 с.: 60x90 1/16. (переплет) ISBN 5-9221-0678-3, 100 экз. - Режим доступа:</b>
2.	Стрелков С. П. Введение в теорию колебаний: учеб. - 3-е изд., испр. - М: Лань, 2005. 50 - 440 с. - (Лучшие классические учебники. Физика). - 3-500. - ЕН. - ISBN 5-8114-0614-2 : 239.00.
3.	Вульфсон И. И. Колебания машин с механизмами циклового действия. - Л. :1 Машиностроение, 1990. - 310 с.: ил. - ОПД, СД. - 3.20.
4.	Машиностроение. Энциклопедия // Том IV–13. Машины и агрегаты легкой12 промышленности, - М: Машиностроение, 1997.
Дополнительная литература	
1	<b>Зубарев, Ю.М. Динамические процессы в технологии машиностроения. Основы конструирования машин [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю.М. Зубарев. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2018. — 212 с. — Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/103067">https://e.lanbook.com/book/103067</a></b>
2	<b>Куликов, И.С. Динамика механических систем : учебное пособие / И.С. Куликов, Г.А. Маковкин ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет». - Нижний Новгород : ННГАСУ, 2013. - 147 с. : ил., граф. - Библиогр. в кн. - ISBN 5-87941-357-8 ; То же [Электронный ресурс]. - URL:<a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=427479">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=427479</a></b>
3	<b>Яцун, С. Ф. Кинематика, динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры:</b> Учебное пособие / С.Ф. Яцун, В.Я. Мищенко, Е.Н. Политов. - М.: Альфа-М: ёНИЦ Инфра-М, 2012. - 208 с.: 60x90 1/16. - (Технологический сервис). (переплет) ISBN 9785-98281-305-3 <a href="http://znanium.com/catalog/product/314716">http://znanium.com/catalog/product/314716</a>

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

#### Информационные ресурсы:

- Федеральный портал «Российское образование»; <http://www.edu.ru/>
- Официальный сайт министерства образования и науки Российской Федерации [http://www.edu.ru/db/portal/org-sci/org\\_zapros.php](http://www.edu.ru/db/portal/org-sci/org_zapros.php)
- Библиотека стандартов «Все ГОСТы» <http://vsegost.com/>
- Электронный каталог библиотеки КГУ <http://library.ksu.edu.ru/>

#### Информационно-образовательные ресурсы:

- Академическая справочная библиотека <https://dic.academic.ru/>
- Энциклопедический справочный ресурс [https://bigenc.ru/technology\\_and\\_technique/text/](https://bigenc.ru/technology_and_technique/text/)

3. Ресурс «Файловый архив студентов» <https://studfiles.net/>
4. Сайт «Учебные материалы» <https://works.doklad.ru/view/>
5. Федеральный ресурс «Теория механизмов и машин» <http://www.teormach.ru/>

**Электронные библиотечные системы:**

1. ЭБС «Лань» <http://lib.kemsu.ru/userfiles/file/>
2. ЭБС «Университетская библиотека online» <http://biblioclub.ru/>
3. ЭБС «Znanium» <http://znanium.com/>

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

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Лекционная аудитория Б- корп., ауд. 315	Видеопрезентационное оборудование: Персональный компьютер Проектор в комплекте с экраном Рабочая доска. Посадочные места на <b>36</b> студентов, рабочее место преподавателя.	Windows Pro 8.1 Поставщик ООО Софт-Лайн Проекты Договор № 50155/ЯР4393 от 12.12.2014 MS Office Std Поставщик ЗАО Софт Лайн Трейд Договор №50156/ЯР4393 от 11.12.2014
Аудитория Б-корп., ауд. 108	Персональные компьютеры 13 посадочных мест, принтер	ANSYS поставщик ЗАО КАДФЕРМ Си-Ай-Эс Договор № 2022-Т/2017-ЦФО от 19.12.2017 MathCAD Education Поставщик ООО ЮнитАльфаСОФТ Договор № 208/13 от 10.06.2013 Windows Pro 8.1 Поставщик ООО Софт-Лайн Проекты Договор № 50155/ЯР4393 от 12.12.2014 Обновление Компас 3D Поставщик ООО Точка Комп Договор № 2-ЭА-2014 от 29.05.2014 MS Office Std Поставщик ЗАО Софт Лайн Трейд Договор №50156/ЯР4393 от 11.12.2014