

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Техническая механика и детали машин»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине

«Б1.В.ФВ2 Теоретико-экспериментальные основы виброзащиты
технологических, транспортных и энергетических машин»

направления подготовки

01.06.01 «Математика и механика»

01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры»
(подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре)

форма обучения – очная

курс – 1

семестр – 1

зачетных единиц – 1

всего часов – 36

в том числе:

лекции – 6

семинары – нет

практические занятия – нет

самостоятельная работа – 30

экзамен – нет

зачет с оценкой - нет

зачет – 1 семестр

Саратов, 2015

1. Цели и задачи дисциплины

Цель преподавания дисциплины:

Подготовка аспирантов специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» к научно-исследовательской работе в части поиска оптимальных решений в условиях различных требований по качеству и надежности создаваемых машиностроительных конструкций на основе моделирования сложных технологических процессов формообразования и технических систем, в том числе на основе экспериментальных исследований.

Задачи изучения дисциплины:

- ознакомиться с природой возникновения колебаний в механизмах и машинных агрегатах в составе технологических, транспортных и энергетических машин;
- изучить методы оценки и разновидности виброколебаний при реализации различных технологических процессов;
- изучить основные виды и методы построения динамических моделей, позволяющих прогнозировать уровень колебаний и выполнять анализ действия вибраций, сопровождающих работу машин в различных режимах;
- усвоить теоретические основы методик оценки вынужденных колебаний механических систем с несколькими степенями свободы;
- ознакомиться с основными методами виброзащиты, применяемых в механических системах различного назначения;
- ознакомиться с современными техническими (конструктивными) решениями обеспечения виброзащиты и основными схемами активных виброзащитных систем;
- освоить методы экспериментального определения уровня и частотных характеристик спектра вибрационных и виброакустических полей, сопровождающих работу машин в условиях форсированных по мощности и нагрузкам рабочих характеристик.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Преподавание ведется в объеме, необходимом для дальнейшей научно-педагогической деятельности выпускника аспирантуры, получившего квалификацию «Исследователь. Преподаватель-исследователь», направленной на пополнение и совершенствование базы знаний в области исследования виброактивности и обеспечения виброзащиты высокопроизводительных машин и скоростных транспортных средств спектра

Выпускник аспирантуры, изучивший дисциплину *Б1.В.ФВ2 «Теоретико-экспериментальные основы виброзащиты технологических, транспортных и энергетических машин»*, должен быть готов к научно-исследовательской деятельности в области математического моделирования технических средств виброзащиты объектов транспортного и технологического машиностроения.

Навыки и умения приобретаются на основе решения практических задач в процессе самостоятельной работы, касающихся разработки многомассовых динамических моделей, отражающих реальные технологические процессы и режимы нагружения механических систем..

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Изучение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

ПК-2. Способность критически анализировать современные проблемы динамики и прочности материалов и конструкций с учетом требований промышленности к разработке и освоению перспективных технических систем, современных достижений науки и мировых тенденций развития техники и технологий, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты;

ПК-3. Способность самостоятельно выполнять научные исследования в области динамики и прочности для приборостроения, технологического машиностроения, топливно-энергетического комплекса, транспорта и строительства; решать сложные научно-технические задачи, которые требуют разработки и применения математических и компьютерных моделей.

Обучающийся должен знать:

- современные методы решения задач динамики;
- методы составления и решения систем дифференциальных уравнений, описывающих колебательные процессы;
- функциональные особенности и кинематические возможности различных классов механизмов, применяемых в машинах универсального и специализированного назначения;
- геометрические характеристики механизмов и их связь с кинематическими и динамическими характеристиками;
- источники виброактивности машин и входящих в них механизмов;
- способы определения главного вектора и главного момента сил инерции при анализе виброактивности механических систем;

- способы экспериментального определения уровня виброактивности различных машин и устройств;
- цели, способы и методы виброзащиты объектов;
- общие сведения о нелинейных колебаниях.

Обучающийся должен уметь:

- разрабатывать динамические модели механических систем с учетом жесткости отдельно взятых элементов;
- составлять системы дифференциальных уравнений с помощью уравнений Лагранжа и квадратичных форм;
- представлять кинетическую и потенциальную энергии в виде квадратичных форм для заданного числа степеней свободы;
- определять и анализировать свободные колебания систем с конечным числом степеней свободы;
- составлять динамические модели для процессов, учитывающих вынужденные колебания при гармоническом возбуждении систем с несколькими степенями свободы.

Обучающийся должен владеть:

- практическими приёмами расчета на виброустойчивость типовых конструкций и узлов (например, расчет собственных и крутильных колебаний валов с присоединенными деталями);
- методами определения статической ($\bar{\Phi}_{i0} \neq 0, \bar{M}_{i0} = 0$), моментной ($\bar{\Phi}_{i0} = 0, \bar{M}_{i0} \neq 0$) и динамической ($\bar{\Phi}_{i0} \neq 0, \bar{M}_{i0} \neq 0$) неуравновешенности;
- методами статической и динамической балансировки деталей и устройств в виде вращающегося ротора;
- навыками определения собственных частот типовых механизмов и машинных агрегатов на их основе;
- практическими приёмами определения инерционных и квазиупругих коэффициентов;
- навыками экспериментального определения амплитудно-частотных (АЧХ) и фазово-частотных (ФЧК) характеристик;
- навыками оценки точности и адекватности моделей; навыками проведения численного эксперимента, в том числе с использованием программных продуктов;
- навыками работы на современной аналитической аппаратуре, включая цифровые системы и компьютерные комплексы.

4. Распределение трудоемкости (час.) дисциплины по темам и видам занятий

№ Мо-ду-ля	№ Не-де-ли	№ Те-мы	Наименование темы	Часы / Из них в интерактивной форме				
				Всего	Лек-ции	Семи-нары	Прак-тичес-кие	СРС
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 семестр								
1		1	Структура динамического расчета.	8	2	-	-	6
		2	Анализ действия вибраций.	12	2	-	-	10
		3	Виброизоляция машин.	16	2	-	-	14
Всего				36	6	-	-	30

5. Содержание лекционного курса

№ темы	Всего часов	№ лекции	Тема лекции. Вопросы, отрабатываемые на лекции	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4	5
1	2	1	Динамические и математические модели в механике. Характеристики упругих элементов и их приведение. Явление упругого резонанса машины. Дорезонансный и зарезонансный режимы работы машины. Колебания машины в зоне резонанса. Уравновешивание сил инерции машин и механизмов.	1-4
2	2	2	Использование особой формы уравнений Лагранжа 2-го рода с избыточными связями (для неголономных систем). Составление систем дифференциальных уравнений для колебательных процессов.	1-4
	2	3	Установка машин на фундаменте. Демпфирование колебаний. Основные виды колебаний и назначение амортизаторов различных типов. Динамическое гашение колебаний.	1-4

6. Содержание семинаров

Семинары учебным планом не предусмотрены

7. Перечень практических занятий

Практические занятия учебным планом не предусмотрены

8. Задания для самостоятельной работы студентов

№ темы	Всего часов	Задания, вопросы, для самостоятельного изучения (задания)	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4
1	6	Представление потенциальной и кинетической энергий в виде квадратичных форм.	3, 4
2	10	Составление систем дифференциальных уравнений с помощью уравнений Лагранжа и квадратичных форм.	1
3	14	Решение задач по виброизоляции машин.	1,4

9. Расчетно-графическая работа

Учебным планом не предусмотрена

10. Курсовая работа

Учебным планом не предусмотрена

11. Курсовой проект

Учебным планом не предусмотрен

12. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Шкала оценивания

Не зачтено:

Правильный ответ на 1 вопрос зачета из 3, менее 25 % тестовых заданий, выполнение менее 60 % заданий по СРС.

Зачтено:

Удовлетворительно – правильный ответ на 2 вопроса зачета из 3, 25-40 % тестовых заданий, выполнение 60-70 % заданий по СРС.

Хорошо - правильный ответ на 2 вопроса зачета из 3, 41-70% тестовых заданий, выполнение более 70 – менее 100 % заданий по СРС.

Отлично - правильный ответ на 3 вопроса зачета из 3, 70-100 % тестовых заданий, выполнение 100 % заданий по СРС.

ПК-2. В части способности критически анализировать современные проблемы динамики ... с учетом требований промышленности к разработке и освоению перспективных технических систем, ... выбирать адекватные способы и методы решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач.

Уровни результатов формирования компетенции.

Удовлетворительный:

Знает: способы динамического гашения колебаний в механизмах.

Умеет: составлять динамические модели механизмов с упругими звеньями.

Владеет: навыками качественного и количественного анализа вариантов решения научно-технической проблемы.

Продвинутый

Знает: методики решения задач динамики для механических систем с несколькими степенями свободы в целях определения вибрационных характеристик;

Умеет: определять собственные частоты колебаний многомассовых систем.

Владеет: навыками составления систем дифференциальных уравнений колебательных процессов.

Высокий

Знает: конструкции различных типов амортизаторов.

методы оценки степени виброзащитности механических систем.

Умеет: рассчитывать упругодеформирующие изоляторы (амортизаторы) при проектировании машин.

Владеет: методами оценки степени виброзащитности механических систем.

ПК-3. В части способности самостоятельно выполнять научные исследования в области динамики; ... решать сложные научно-технические задачи, которые требуют разработки и применения математических и компьютерных моделей.

Уровни результатов формирования компетенции.

Удовлетворительный:

Знает: методы статического и динамического уравнивания механизмов.

Умеет: составлять алгоритмы расчета динамических характеристик для моделей в виде вращающегося ротора.

Владеет: навыками использования средств автоматизированного проектирования при решении задач динамики (APM WinMachine и др.).

Продвинутый

Знает: - принципы виброизоляции систем с одной степенью свободы;

- способы снижения виброактивности источника.

Умеет: математически оценивать вынужденные колебания системы с одной степенью свободы.

Владеет: навыками выбора конструктивных вариантов виброзащитных элементов (например, амортизаторов).

Высокий

Знает: способы оценки эффективности виброзащиты.

Умеет: разрабатывать системы виброзащиты для объектов транспортного и технологического машиностроения.

Владеет: методами решения систем дифференциальных уравнений при определении частотных характеристик машин и механизмов.

Вопросы для зачета

1. Свободные и вынужденные колебания, автоколебания.
2. Динамическая модель и ее элементы.
3. Упругие и диссипативные связи. Параметры диссипации и их приведение.
4. Приведение моментов инерции и масс.
5. Последовательное и параллельное соединение элементов при построении динамических моделей.
6. Связь геометрических, кинематических и динамических характеристик механизмов.
7. Устойчивость положения равновесия. Теорема Лагранжа – Дирихле.
8. Представление потенциальной энергии в виде квадратичных форм.
9. Определение инерционных и квазиупругих коэффициентов.
10. Составление уравнений кинетической и потенциальной энергии для конкретной механической системы.
11. Составление систем дифференциальных уравнений с помощью уравнений Лагранжа и квадратичных форм.
12. Свободные колебания систем с конечным числом степеней свободы.
13. Понятие о парциальной частоте.
14. Позиционные и циклические координаты.
15. Область применения и возможности виброакустического комплекса ВК-01.
16. Определение спектра собственных частот на примере крутильной системы с распределенными параметрами.

17. Амплитудно-частотные характеристики.
18. Фазово-частотные характеристики.
19. Критические скорости вращающихся валов.
20. Виброизоляция.
21. Динамическое гашение колебаний.

Вопросы для экзамена

Учебным планом не предусмотрен

Тестовые задания по дисциплине

1. Определить критическую скорость вращения вала массой $m=5$ кг при расстоянии между опорами $L=400$ мм. Эксцентриситет $e=0,5$ мм. Центр тяжести расположен в середине общей длины вала. Изгибная жесткость $C=10^4$ н/мм.
2. Привести силу инерции $F_{и2}$, действующую на центр тяжести шатуна **ККМ**, к валу кривошипа.
3. Привести силу инерции $F_{и3}$, действующую на центр тяжести коромысла **ККМ**, к валу кривошипа. Привести силу полезного сопротивления, действующую на ползун **КПМ**, к валу кривошипа.
4. Привести инерционный момент $T_{и2}$, действующий на шатун **КПМ**, к валу кривошипа.
5. Привести инерционный момент $T_{и3}$, действующий на коромысло **ККМ**, к валу кривошипа.
6. Привести момент инерции кривошипа I_1 кривошипно - ползунного механизма к ползуну.
7. Привести момент инерции шестерни I_1 одноступенчатого **редуктора** грузоподъемной лебедки к поднимаемому грузу (как к звену приведения).
8. Для грузоподъемной лебедки с одноступенчатым **редуктором** с передаточным числом U_p привести массу поднимаемого груза G_4 и всех вращающихся деталей к якорю двигателя (как к звену приведения). Задано: $I_{z1}, I_{z2}, I_{бараб.}, I_{якор.}, n_{двиг.}$.
9. Определить коэффициент неравномерности хода $\square\square\square$ для установившегося режима работы машинного агрегата (**МА**) согласно заданного прямоугольного графика изменения момента T_d движущих сил (**рис.**). Силы и массы **МА** приведены валу **A**, момент сил сопротивления $T_c = const$.
10. Получить выражение, описывающее изменение угловой скорости \square грузоподъемной лебедки в период разгона, если известно, что в системе привода использован двигатель постоянного тока с параллельным возбуждением. Решение допускается получить в интегральной форме на основе выражения $J_{пр} * \square_{пр} = T_d - T_c$.
11. Определить крутящий момент T_b на ходовом винте токарно-винторезного станка, обеспечивающий перемещение с постоянной скоростью суппорта с V-образными направляющими весом G . Коэффициенты трения трения в резьбе и по плоскостям трения соответственно - f_p и f_n .
12. Определить крутящий момент T_b на ходовом винте токарно-винторезного станка, обеспечивающий перемещение с постоянной скоростью суппорта с V-образными направляющими ($\square\square\square\square\square\square\square\square\square$). Преодолеваемое осевое усилие - F_{nc} . Коэффициенты трения трения в резьбе и по плоскостям трения соответственно - f_p и f_n . Весом суппорта пренебречь.
13. Определить крутящий момент на ведущем валу самотормозящей червячной передачи, обеспечивающий вертикальный подъем груза G с постоянной скоростью V_g . Заданы: диаметр барабана D , наматывающего грузовой трос, $U_{редук.}$.
14. Получить выражение, позволяющее определить время разгона \square в период пуска грузоподъемной лебедки, если известно, что в системе привода использован двигатель постоянного тока с параллельным возбуждением. Решение допускается получить в интегральной форме на основе выражения $J_{пр} * \square_{пр} = T_d - T_c$.
15. Привести момент инерции червячного колеса $I_{чер}$ самотормозящей червячной передачи, обеспечивающий вертикальный подъем груза массой m с постоянной скоростью V_g , к массе груза.
16. Для **КПМ** с качающимся цилиндром заданы все размеры звеньев, усилие полезного сопротивления F_{nc} , к.п.д. - $\square\square\square\square$ а также соотношение работ сил трения на прямом и холостом ходе - $A_{тр}^{раб} = 3 * A_{тр}^{хол}$. Определить величину движущего момента $T_{дв}$ при установившемся режиме работы.
17. Получить динамическую модель грузоподъемной лебедки на основе одноступенчатого цилиндрического редуктора, осуществляющей подъем груза со скоростью V_g . Звено приведения - поднимаемый груз.
 $\square\square$. Получить динамическую модель грузоподъемной лебедки на основе одноступенчатого цилиндрического редуктора, осуществляющей подъем груза со скоростью V_g . Звено приведения - вал электродвигателя.
19. Для **КПМ** с качающимся цилиндром заданы все размеры звеньев, усилие полезного сопротивления F_{nc} , к.п.д. - $\square\square\square\square$ а также соотношение работ сил трения на прямом и холостом ходе - $A_{тр}^{раб} = 3 * A_{тр}^{хол}$. Определить работу сил трения $A_{тр}$ за один оборот кривошипа.
20. Для **КПМ** с качающимся цилиндром заданы все размеры звеньев, усилие полезного сопротивления F_{nc} , к.п.д. - $\square\square\square\square$ угловая скорость вращения кривошипа $\square\square\square const$, также соотношение работ

сил трения на прямом и холостом ходе - $A^{раб}_{тр} = 3 * A^{хол}_{тр}$. Определить мощность $P_{дв}$, необходимую для вращения ведущего звена .

21. Для **КПМ** заданы все размеры звеньев, усилие полезного сопротивления $F_{пс}$, к.п.д. - η_{ω} угловая скорость вращения кривошипа $\omega_{кр} = const.$, также соотношение работ сил трения на прямом и холостом ходе - $A^{раб}_{тр} = 3 * A^{хол}_{тр}$. Определить среднюю мощность сил трения $P_{тр}^{сп}$ за один оборот кривошипа при холостом ходе . Определить массу маховика J_m при заданном коэффициенте неравномерности хода δ для установившегося режима работы машинного агрегата (**МА**) согласно заданного графика изменения момента $T_{дв}$ движущих сил (рис.). Силы и массы **МА** приведены к валу A , момент сил сопротивления $T_c = const.$

22. Для машинного агрегата **МА** с асинхронным электродвигателем определить угловую скорость опрокидывания $\omega_{опр}^{ав}$ механической характеристики, если известно, что $T_{пс} = const$, $T_{дв1} = a_1 + b_1 \omega_{пр}$, $T_{дв2} = a_2 - b_2 \omega_{пр}$.

23. Для манипуляционной системы **ПР**, работающего в цилиндрической системе координат, получить зависимость для определения динамических усилий в приводе подъема каретки исходя из заданной траектории перемещения груза G .

24. Осуществить полное статическое уравнивание **ККМ** установкой противовесов на кривошипе, шатуне и коромысле ($L_1/L_2 = 0.25$, $L_1/L_3 = 0.5$).

Центры тяжести звеньев располагаются в серединах звеньев.

25. Осуществить полное статическое уравнивание **КПМ** установкой противовесов на кривошипе и шатуне ($\lambda = L_1/L_2 = 0.25$).

Центры тяжести звеньев располагаются в серединах звеньев.

Задания для выполнения самостоятельной работы

Самостоятельная работа по каждой теме выполняется каждым обучающимся индивидуально на основе разработанного совместно с руководителем технического задания. Отчетным документом работы является пояснительная записка, включающая задания на выполнение работы, аналитический обзор литературы и патентных источников, постановку задачи, описание исследуемых параметров и переменных факторов, подходы к решению задачи, план эксперимента, описание выбранной функции, реализацию плана с определением коэффициентов функции, оптимизацию функции.

14. Образовательные технологии

В процессе занятий по темам 1 -3 применяются интерактивные методы нахождения решений по выбору способов виброзащиты в одно- двухмассовых моделях.

15. Перечень учебно-методического обеспечения для обучающихся по дисциплине

1. Обязательные издания.

1. Теория механизмов и машин: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений /М.З. Коловский и др. - М.: Издательский центр «Академия», 2008. - 560 с.
2. Муштаев В.И. Основы инженерного творчества: учеб. Пособие / В.И. Муштаев, В.Е. Токарев. – М.: Дрофа, 2005. – 254 с.
3. Вульфсон И.И. Динамические расчеты цикловых механизмов. Л.: Машиностроение, 1976. – 328 с.
4. Вульфсон И. И. Виброактивность приводов машин разветвленной и кольцевой структуры. — Л.: Машиностроение, 1986. — 99 с.

2. Дополнительные издания.

5. Дербаремдикер А.Д. Гидравлические амортизаторы автомобилей.М.: Машиностроение, 1969. – 236 с.
4. Вибрации в технике: Справочник. В 6 т. М., 1979.

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

7. Периодические издания

8. Интернет-ресурсы

6. Использование Интернет-ресурса Научно-технической библиотеки СГТУ: <http://lib.sstu.ru>
7. Электронный читальный зал ЭБС «БиблиоТех» <http://lib.sstu.ru/index.php/elmrazdel/metellib/3321-elreselibonline>.
8. Электронно-библиотечная система IPRbooks <http://www.iprbookshop.ru>.

9. ЭБС «Консультант студента» Электронная библиотека технического ВУЗа <http://www.studentlibrary.ru/>
10. Электронно-библиотечная система <http://e.landbook.com>.

9. *Источники ИОС*

10. *Профессиональные Базы Данных*

11. Виброакустический комплекс ВК-01. Руководство по эксплуатации. Программное обеспечение *ZetLab* / ОАО «Электронные технологии и метрологические системы» (г. Зеленоград Московской обл.)
12. Замрий А.А. CAD/CAE система АРМ WinMachine. Практический учебный курс: учебно-методическое пособие.-М.: изд-во АРМ. 2007.- 144с.

16. Материально-техническое обеспечение

Помещения для чтения лекций площадью 60 кв. м. и площадью 40 кв. м. Помещение межфакультетской лаборатории 008. Помещение Центра конструкторско-технологической поддержки предприятий машиностроительного комплекса площадью 80 кв. м.

В помещениях установлены мультимедийные комплекты оборудования: ПК с выходом в ИОС СГТУ имени Гагарина Ю.А., проектор, экран.

В помещениях размещены:

1. Установка для балансировки роторов.
2. Установка для определения коэффициента трения и КПД винтовой пары.
3. Установка для определения приведенного коэффициента трения в подшипнике методом выбега.

17. Особенности освоения для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Для аспирантов с ограниченными возможностями здоровья предусмотрены следующие формы организации педагогического процесса и контроля знаний:

-для *слабовидящих*:

обеспечивается индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс; для выполнения контрольных заданий при необходимости предоставляется увеличивающее устройство;

задания для выполнения, а также инструкция о порядке выполнения контрольных заданий оформляются увеличенным шрифтом (размер 16-20);

- для *глухих и слабослышащих*:

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

- для *лиц с тяжелыми нарушениями речи, глухих, слабослышащих* все контрольные задания по желанию аспирантов могут проводиться в письменной форме.

Основной формой организации педагогического процесса является интегрированное обучение инвалидов, т.е. все аспиранты обучаются в смешанных группах, имеют возможность постоянно общаться со сверстниками, легче адаптируются в социуме.

Рабочую программу составил «___» _____ 2015 г. _____/_____